

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Prosessi- ja materiaalitekniikan osasto

Puunjalostustekniikan laitos

Mika Leino

HUULISUIHKUN HALLINTAPARAMETRIEN VAIKUTUS

TAIVEKARTONGIN LAATUUN

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä
tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa
varten Espoossa 10.5.1996.

Työn valvoja: Professori Hannu Paulapuro

Työn ohjaaja: Diplomi-insinööri Martti Rautoja

TEKNILLINEN KORKEAKOULU
Puunjalostustekniikan laitos
Kirjasto

Tekijä, työn nimi

Mika Leino

Huulisuihkun hallintaparametrien vaikutus taivekartongin laatuun

Päivämäärä: 9.5.1996

Sivumäärä: 94

Osasto, laitos, professuuri

Prosessi- ja materiaalitekniikan osasto

Puunjalostustekniikan laitos

Puu-21 Paperitekniikka

Työn valvoja:

Professori Hannu Paulapuro

Työn ohjaaja:

Diplomi-insinööri Martti Rautoja

Tämän diplomityön tavoitteena oli selvittää huulisuihkujen hallintaparametrien optimoimisen potentiaali taivekartongin laatua parannettaessa. Apuna tässä käytettiin Valmetin Optijet-huulisuihkulaskentaa, jonka käyttökelpoisuutta samalla testattiin.

Diplomityön kokeellisen osan runkona oli kolme Taguchi-koesuunnitteluun perustuvaa koeajoa, jotka suoritettiin Inkeröisten kartonkitehtaan KK4:llä normaalin tuotannon yhteydessä. Taguchi-kokeissa käytettiin L_8 -ortogonaalimatriiseja, jolloin voitiin samanaikaisesti tutkia seitsemää hallintasuuretta. Nämä hallintasuureet olivat runkokerroksen huulisuihkun iskukulma, pinta- ja runkokerroksen suihkun ja viiran nopeuserot, perälaatikkosakeudet ja esisuodatuksen määrät. Taguchi-kokeiden yhteydessä ja niiden lisäksi tarkasteltiin perälaatikoiden ajotapaa (suihkusuhte- vs. nopeuserosäätö), kartongin vaurioitumista rullauksessa, sekä muutosten vaikutusta kartonkikoneen tasapainoon.

Koeajoissa havaittiin, että raskailla kartongeilla hyvän formaation saavuttaminen on keskeistä. Raskailla kartongeilla runkokerros on yli 200 g/m^2 , jolloin massasulpun turbulenssi vaimenee nopeasti perälaatikon jälkeen. Perälaatikkosakeus vaikuttaa muodostuvan rainan turbulentsisuustilaan, minkä takia raskaita kartonkeja tulisi ajaa mahdollisimman alhaisilla perälaatikkosakeuksilla. Raskailla lajeilla kartongin muut ominaisuudet pysyvät alhaisillakin sakeuksilla tavoitteessaan. Kevyillä lajeilla on huulisuihkujen optimoinnissa otettava huomioon useiden tilasuureiden muutokset, joista formaatio ei läheskään aina ole kriittisin. Kevyillä lajeilla ongelmallisia tilasuureita voivat olla esimerkiksi palstautumislujuus ja poikkisuuntainen jäykkyys.

IGT-pintalujuuden hallinnasta havaittiin tässä työssä alhaisen pintakerroksen perälaatikkosakeuden positiivinen vaikutus pintalujuuteen. Tämä havainto on vastoin aikaisemmin vallinnutta kokemusta, jolloin IGT:n yhtenä parannuskeinona on käytetty pintakerroksen perälaatikkosakeuden nostamista.

Kartongin poikkisuuntaisen jäykkyyden kannalta tärkein hallintasuure sekä kevyillä että raskailla kartongeilla on pintakerroksen suihkun ja viiran nopeusero. Yleisemmin kartongin uloimpien kerrosten nopeuseron itseisarvon kasvattaminen lisää kuitujen orientoitumista konesuuntaan, mikä lisää konesuuntaista jäykkyyttä, mutta heikentää voimakkaasti poikkisuuntaista jäykkyyttä. Runkokerroksen nopeuseron kasvattamisen vaikutus jäykkyyteen on sen sijaan varsin pieni, joten runkokerrosta voidaan ajaa suurellakin nopeuserolla esim. formaation maksimoimiseksi.

Optijet-huulisuihkulaskennasta havaittiin olevan apua huulisuihkun ajotapavirheissä, mutta hyöty oli kokonaisuudessaan oletettua pienempi. Monet laskennalliset huulisuihkujen arvot osoittautuvat vähän tai ei ollenkaan lopputuotteen laatuun vaikuttaviksi. Lisäksi huulisuihkulaskennan luotettavuus edellyttää perälaatikoiden huolellista, säännöllisin väliajoin tapahtuvaa viritämistä.

Noin kahden kuukauden seurantajaksolla perälaatikoiden nopeuserosäätö osoittautui käyttökelpoiseksi menetelmäksi perinteisen suihkusuhtesäädön sijasta. Laajan tuotantoalueen koneessa nopeuserosäätö on huolettomampi. Todellinen vaikuttaja rainamuodostuksessa suihkusuhtesäädölläkin on huulisuihkun ja muodostumassa olevan rainan välinen nopeusero. Tällöin koneen nopeuden muuttuessa myös suihkusuhteen säätötarve on suurempi kuin nopeuseron säätötarve. KK4:n koko nopeuskaala (230 m/min - 480 m/min) voidaan ajaa vähäisellä nopeuseron muuttamisella.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Enso Cartonboards Oy Ltd:n
Inkeröisten kartonkitehtaalla.

Työn valvojana on toiminut professori Hannu Paulapuro, jota
haluan kiittää asiantuntevista neuvoista ja mielipiteistä.

Työn ohjaajana on toiminut Inkeröisten kartonkitehtaan
teknisen osaston päällikkö DI Martti Rautoja. Hänelle esitän
parhaat kiitokseni hyvästä yhteistyöstä.

Lisäksi haluan kiittää kartonkikone 4:n käyttöpäällikkö Ins.
Juhani Saloa sekä käyttöinsinööri DI Henrik Roosia neuvoista
työn aikana. Kiitokset myös koko Inkeröisten kartonkitehtaan
henkilöstölle avusta tämän työn toteuttamisessa.

Lopuksi kiitokset vaimolleni Minnalle tuesta opiskelun ja
diplomityön aikana.

Järvenpäässä, 9.5.1996



Mika Leino

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO.....	1
2. TAIVEKARTONGIN TUOTEANALYYSI.....	1
2.1 Pintakerros.....	3
2.2 Runkokerros.....	4
2.3 Taustakerros.....	5
3. FORMAATION JA KUITUORIENTAATION MÄÄRITELMÄT.....	6
3.1 Formaatio.....	6
3.3.1 Formaation vaikutus painettavuuteen.....	8
3.3.2 Formaation vaikutus lujuusominaisuuksiin..	11
3.2 Kuituorientaatio.....	12
4. HUULISUIHKUN HALLINTAPARAMETRIEN VAIKUTUS FORMAATIOON JA ORIENTAATIOON.....	13
4.1 Vaikutuksia formaatioon.....	13
4.2 Vaikutuksia kuituorientaatioon.....	17
5. PERÄLAATIKON ROOLI PROFIILINHALLINNASSA.....	19
5.1 Karavaste.....	19
5.2 Reuna-aallot.....	22
6. FORMAATION JA KUITUORIENTAATION MITTAUSMENETELMÄT...	23
6.1 Formaation mittausmenetelmiä.....	24
6.1.1 Punnitseminen.....	25
6.1.2 Ionisoiva säteily.....	25
6.1.3 Näkyvä valo.....	28
6.1.4 Näytteenotto.....	29
6.1.5 Formaation tunnusluvut.....	29
6.2 Kuituorientaation mittaus.....	30

7. KIRJALLISUUSOSAN YHTEENVETO.....	32
8. KOKEELLISEN OSAN TAVOITE.....	33
9. INKEROISTEN KARTONKIKONE 4:N ESITTELY.....	34
9.1 Perälaatikot ja viiraosa.....	35
9.2 Puristinosaa.....	36
9.3 Kuivatusosa.....	37
9.4 Päällystys ja viimeistely.....	38
10. HUULISUIHKUN PARAMETRIEN MITTAUS- JA LASKENTA- MENETELMÄT VIRHEARVIOINEEN.....	38
10.1 Perinteinen huulisuihkulaskenta ja perä- laatikon säätöperiaatteet.....	38
10.2 Optijet.....	41
11. TAIVEKARTONGIN HUULISUIHKUN HALLINTAPARAMETRIEN OPTIMOIMINEN TAGUCHI-MENETELMÄLLÄ.....	44
11.2 Taguchi-koesuunnittelun perusteet.....	44
11.2 Koesuunnitelma.....	46
12. TEHDASKOEAJOJEN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS.....	47
12.1 Esikokeet.....	48
12.2 Koeajo 230 g/m^2 kartongilla.....	49
12.3 Koeajo 280 g/m^2 kartongilla.....	50
12.4 Koeajo 325 g/m^2 kartongilla.....	51
12.5 Taguchi-kokeiden lisäksi tehtyjä tutkimuksia..	52
12.5.1 Rullausvauriotutkimus.....	52
12.5.2 Perälaatikoiden nopeuserosäätötapa.....	52
12.5.3 Reuna-aaltotarkastelu.....	53

13. SUORITETUT MITTAUKSET JA TULOSTEN ANALYSOINTI ERI	
KOEAJOISTA.....	53
13.1 Formaatio.....	54
13.2 Sileys.....	58
13.2.1 PPS ₁₀ -sileys.....	58
13.2.2 Bendtsen-sileys.....	61
13.3 Kartongin palstautuminen.....	63
13.3.1 Scott-Bond.....	63
13.3.2 Irrotusluvut.....	65
13.4 IGT-pintalujuus.....	68
13.5 Taber-jäykkyys.....	70
13.5.1 Konesuuntainen jäykkyys.....	70
13.5.2 Poikkisuuntainen jäykkyys.....	72
13.5.3 Jäykkyyssuhde.....	72
13.6 Kartongin vetolujuus.....	75
13.6.1 Konesuuntainen vetolujuus.....	75
13.6.2 Poikkisuuntainen vetolujuus.....	75
13.6.3 Vetolujuussuhde.....	79
13.7 Koepainatus.....	79
13.8 Hallintasuureiden optimointi ja varmistus-	
kokeet.....	81
13.9 Tulosten luotettavuuden arvioiminen.....	82
14. KARTONGIN TILASUUREIDEN VÄLISET YHTEYDET.....	83
15. TULOKSIA ERILLISKOKEISTA.....	84
15.1 TSO-mittaus.....	84
15.2 Rullausvauriotutkimus.....	84
15.3 Perälaatikoiden nopeuserosäätökokeilu.....	85
15.4 Reuna-aaltotarkastelu.....	85

16. EHDOTUKSET JATKOTOIMENPITEIKSI.....86

17. YHTEENVETO.....86

LÄHDELUETTELO

LIITELUETTELO

LIITTEET 8 kpl

1. JOHDANTO

Inkeröisten kartonkitehtaan kartonkikone 4:llä on otettu käyttöön Valmetin Optijet-huulisuihkulaskenta. Tässä diplomityössä on tarkoitus selvittää huulisuihkulaskennan avulla, miten nyt käytettävissä olevilla hallintaparametreilla voidaan vaikuttaa taivekartongin laatuun. Tutkittavia kohteita ovat mm. kokonaisulosvirtaus, suihkun ja viiran nopeusero (suihkusuhte), iskukulma ja esisuodatuksen määrä.

Viiraosan ajotavan optimointi keskittyy pinta- ja runkokerrokseen, jotka vaikuttavat eniten taivekartongin laatuun. Ajotavan optimointiin kuuluu Optijet-laskennan potentiaalin selvittäminen, kartongin tilasuureiden optimoiminen käytettävissä olevilla hallintakeinoilla sekä käyttöhenkilökunnan koulutus viiraosan optimaaliseen ajotapaan.

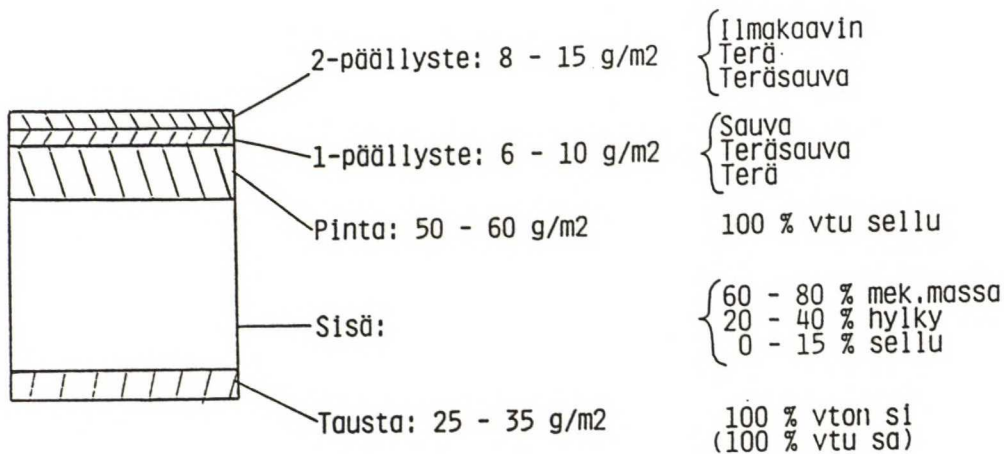
Inkeröisten kartonkikone 4 on laajan tuotevalikoiman kone (kartongin neliömassa-alue $200-385 \text{ g/m}^2$, pintapuolella päällystys joko kertaalleen tai kahdesti pintaliimatulla taustalla, tai vaihtoehtoisesti kaksi päällystekerrosta pinnassa ja yksi kerros taustassa). Laajan tuotevalikoiman takia perälaatikkokoeajoja päätettiin suorittaa kolmella eri neliömassalla, mutta kaikki samalla lajilla (pinnassa kaksi päällystekerrosta, tausta pintaliimattu).

2. TAIVEKARTONGIN TUOTEANALYYSI

Taivekartonki on monikerroksinen kartonki, jossa 2-9 kerrosta on liitetty yhteen. Taivekartonki käsittää yleensä pinta-,

runko- ja taustakerroksen. Taivekartongin neliömassa on tavallisesti alueella 180-400 g/m².

Taivekartongin kerrokset koostuvat erilaisista massaseoksista. Tavalliset lähtömassat eri kerroksille ovat valkaistu kemiallinen massa pintakerrokseen, mekaaninen massa runkokerrokseen ja kemiallinen massa taustakerrokseen. Taustakerroksen kemiallinen massa voi olla joko valkaistua tai puolivalkaistua. Lisäksi runkokerroksessa voidaan käyttää hylkymassaa. Taivekartonkia valmistetaan päällystämättömänä sekä erilaisilla päällysteillä. Kuvassa 1 on esitetty tyypillinen taivekartongin koostumus.



Kuva 1. Päällystetyn taivekartongin koostumus/1/

Taivekartongista valmistetaan rasioita erilaisten tuotteiden pakkaamiseen. Tärkeimmät taivekartonkia pakkaamiseen käyttävät teollisuuden alat ovat elintarvike-, tupakka-, lääke- ja kosmetiikkateollisuus. On olemassa myös erikoislajeja korkealaatuisiin painatus- ja pakkaustöihin sekä postikortteihin./2/

Taivekartongin eri kerroksille asetetaan erilaisia vaatimuksia sen mukaan, mikä kerroksen tehtävä on. Tuoteanalyysiä varten oletetaan kartongin jokainen kerros itsenäiseksi rakenteeksi, jota voidaan tutkia kuten yksikerroksista rainaa.

2.1 Pintakerros

Kartongista valmistettujen pakkausten tulee kuormitettunakin säilyttää muotonsa. Tästä syystä kartongin tulee olla jäykkää. Monikerrosrakenteessa on erityisesti uloimpien kerrosten kimmo-kerroin tärkeä. Pintakerroksen tärkeä tilasuure on täten kimmo-kerroin pinta-alayksikköä kohti/3/. Kotelokartongille on erityisen tärkeää poikkisuuntainen jäykkyys, johon vaikuttaa pintakerroksen kuituorientaatio.

Kartongin tulee kestää nuuttausta laatikoita valmistettaessa. Nuuttauksessa kartongin pintakerrosta venytetään tietty määrä, eikä kerros saa silloin repeytyä. Tällöin pintakerroksen tärkeä tilasuure on murtovenymä/4/. Pintakerrokselta vaaditaan lisäksi tiettyä pintalujuuta offset-painatuksessa sekä kotelonvalmistuksen sivuliimauksessa. Myös veto- ja repäisylujuus ovat vaadittavia ominaisuuksia valmistuksen, jalostuksen ja käytön eri vaiheissa/5/. Pintakerroksen tulee olla myös sitoutunut riittävän lujasti runkokerrokseen, jottei kartongin pinta irtoaisi jalostuksessa. Kerrosten välinen palstautumislujuus on sitoutumista kuvaava tilasuure/4/.

Painatuksessa kartongilta vaaditaan pintalajuuden lisäksi riittävää sileyttä. Edellytyksenä sileydelle on hyvä formaatio. Keskikerroksella on alempi vaaleus kuin pintakerroksella. Kun pintakerros pyritään tekemään mahdollisimman ohueksi, vaaditaan

pintakerrokselta riittävää opasiteettia. Runkokerroksen tumma väri ja epäpuhtaudet eivät saa näkyä pintakerroksen läpi./3/

Kartonki ei saa käyristyä jalostuksessa tai lopputuotteessa. Pintakerroksen muodonmuutos kosteuden vaikutuksesta on yleensä suurempi kuin mekaanista massaa sisältävän runkokerroksen. Tämä aiheuttaa käyristymistä, jos kartongin ilmastoituessa sen vesipitoisuus muuttuu. Pintakerroksen muodonmuutos kosteuden vaikutuksesta ei täten saisi olla suurempi kuin muiden kerrosten. Kuvaava tilasuure muodonmuutoksiin on mittapysyvyys kosteuden vaihdellessa./4/

Kartonkikoneen pullonkaulana on usein kuivatusosa. Jos kuivatusnopeutta kiihdytetään sylintereiden höyrynpainetta lisäämällä, saattaa pintakerros irrota rungosta tai pinnan sileys ja kiillon tasaisuus kärsiä. Irtoaminen johtunee siitä, että runkokerroksesta poistuva vesihöyry ei pääse tunkeutumaan riittävän nopeasti pintakerroksen läpi. Pintakerrokselta vaaditaan siis riittävää huokoisuutta./3/

Yhteinen tekijä kaikille taivekartongin kerroksille on se, että valmistuskustannusten on pysyttävä mahdollisimman edullisina. Valmistuskustannuksiin olemassaolevalla laitteistolla vaikuttaa raaka-aineen hinta sekä jauhatus-energian ominaiskulutus./5/

2.2 Runkokerros

Runkokerroksen pääasiallinen tehtävä on pitää pinta- ja taustakerrokset mahdollisimman etäällä toisistaan paksun palkkirakenteen muodostamiseksi ja kartongin jäykkyyden lisäämiseksi. Kerrokselta vaaditaan siis mahdollisimman hyvää bulkkia. Bulkin

tulisi myös säilyä valmistuksen, jalostuksen ja käytön eri vaiheissa/5/. Myös kartongin kone- ja poikkisuuntaisen jäykkyyssuhteen tulee olla sopiva. Kuituorientaatio sekä kuituominaisuuksien suuntaisuus vaikuttavat jäykkyyssuhteeseen.

Runkokerrokselta vaaditaan lisäksi riittävää lujuutta, jotta rakenne pysyisi koossa jalostuksessa ja painatuksessa. Tätä kuvaa kartongin palstautumislujuus. Kartonki voi palstautua joko kerroksen sisältä tai kerrosten välisestä saumasta. Koska taivekartonki on monikerrosrakenne, saattaa kerrosten välinen palstautumislujuus olla kriittinen ominaisuus. Runkokerrokselta vaaditaan myös hyvää formaatiota, koska ohut pintakerros ei pysty peittämään rungon epätasaisuuksia, jolloin kartongin pinnan sileyys kärsii. Lisäksi runkokerroksen vaaleuden on oltava riittävä, jottei se näkyisi normaalipaksuisen pintakerroksen läpi.

2.3 Taustakerros

Pintakerrokseen verrattuna taustakerros on selvästi ohuempi, mutta sillä on silti selvä vaikutus kartongin jäykkyyteen. Taustakerrokselta edellytetään hyvää kimmokerrointa. Taustakerroksen on pysyttävä rungossa kiinni, joten se ei saa palstautua kerrosten välistä. Lisäksi taustakerrokselta vaaditaan tiettyä pintalujuutta, jotta kartongin pölyämiseltä välttyttäisiin.

Toisinaan taivekartongin taustakerros päällystetään, ja siihen tulee mahdollisesti painatus. Tällöin taustakerrokseltakin vaaditaan riittävää sileyttä.

Kartongin kaikilta kerroksilta vaaditaan elintarvikekelpoisuutta/4/. Tämä koskee niin kerroksissa käytettyjä massakomponentteja kuin lisäaineitakin. Myös kerrosten tasaisuus on tärkeää. Kone- ja poikkisuuntaisen vaihtelun sekä jäännöshajonnan tulee olla pieniä.

3. FORMAATION JA KUITUORIENTAATION MÄÄRITELMÄT

Lähteestä riippuen formaatiolla tarkoitetaan joskus hieman eri asioita. Varsinkin käsitteitä formaatio ja pohja käytetään joskus sekaisin ja epätarkasti. Seuraavassa on kirjallisuudessa /6,7,8,9,10/ esiintyvät formaation ja kuituorientaation määritelmät, joita käytetään tässä työssä.

3.1 Formaatio

Formaatiolla tarkoitetaan paperin pienimittakaavaista neliömassavaihtelua paperin tasossa. Neliömassan pienimittakaavainen vaihtelu on paperille ominaista, ja se johtuu rainanmuodostustapahtuman satunnaisesta luonteesta, kuitujen suuresta paksuudesta paperin paksuuteen verrattuna ja kuitumateriaalin taipumuksesta muodostaa verkostoja. Massan flokkaantumistaipumuksella ja perälaatikon sekä viiraosan flokkeja hajottavilla mekanismeilla on tärkeä osuus formaation synnyssä./6,7/

Suotautumisen jälkeen rainan neliömassavaihtelu on muodostunut, eikä siihen juurikaan voida vaikuttaa prosessin myöhemmissä vaiheissa. Tosin esimerkiksi kuivatusosalla tapahtuvat rainan muodonmuutokset vaikuttavat neliömassavaihteluun, koska dimensiomuutoksissa myös pinta-alaa kohti laskettavaan neliömassaan

tulee muutoksia/11/. Päällystyksellä voidaan tasoittaa päällystetyn rainan neliömassavaihtelua.

Formaatioon katsotaan kuuluvan vaihtelut, joiden aallonpituus on nollasta 70-100 mm:n/8/. Tätä pitempiaaltoisen vaihtelun syntymekanismi on erilainen, ja siihen vaikuttaa konesuunnassa mm. koneen epästabiili toiminta. Poikkisuunnassa mm. huuliaukon säätö ja perälaatikon rakenne voivat aiheuttaa pitempiaaltoista vaihtelua. Teoriassa vaihtelun mittakaavalla ei ole alarajaa.

Formaatiota luonnehdittaessa ollaan kiinnostuneita monesta asiasta, esimerkiksi formaation intensiteetistä, mittaskaalasta, paperin anisotrooppisuudesta sekä periodistisista rakenteista, kuten viira- tai huopamarkkeeraus./6/

Formaatio on paperin tärkeimpiä rakennetekijöitä, sillä se vaikuttaa paperin muihin ominaisuuksiin, kuten paksuuden, pinnan karheuden ja huokoisuuden tasaisuuteen sekä paperin mekaanisiin ja optisiin ominaisuuksiin. Paperin homogeeninen rakenne on toivottava ominaisuus jatkojalostajien, mm. päällystäjien ja painajien, kannalta./6/

Usein puhutaan myös paperin pohjasta. Pohjalla tarkoitetaan sitä visuaalista tasaisuusvaikutelmaa, joka saadaan tarkastelemalla paperia valoa vasten. Pohjan tasaisuuteen vaikuttaa sekä kuitumateriaalin että optisten ominaisuuksien jakautuminen arkissa. Lisäksi ihmisen näköaistin toiminta vaikuttaa visuaaliseen arviointiin./6/

Paperin pohjaan liittyy käsitte flokkisuus, jota kuvataan esim. pilviseksi tai ryynimäiseksi. Pohjan yhteydessä flokillla tarkoitetaan muutakin kuin kuitukimppua. Paperin pohjasta puhutta-

essa flokki on läpivalossa näkyvä tumma alue. Vaikka näiden tummien alueiden neliömassa on yleensä suurempi kuin paperin keskimääräinen neliömassa, ei ole välttämätöntä, että paperin flokki olisi jo sulpuissa ollut flokki/12/. Formaation määritelmässä ei yleensä puhuta flokkisuudesta. Flokin koon sijasta olisi usein täsmällisempää puhua esimerkiksi neliömassavaihtelun vallitsevasta aallonpituudesta/11/.

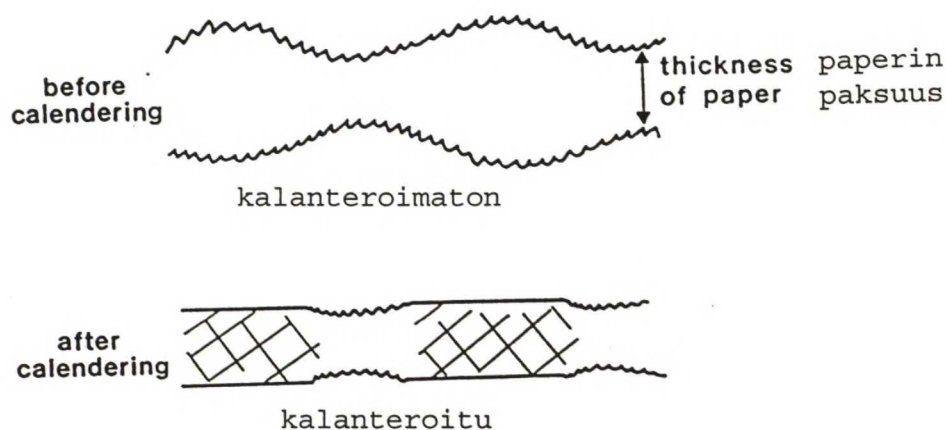
Formaation määritelmän vivahteista riippumatta formaatio on nimenomaan paperin rakennetekijä, eikä esimerkiksi paperinvalmistusprosessin hallinta- tai häiriösuure. Formaatio muodostuu käytettyjen massakomponenttien, niiden jauhatuksen, rainanmuodostuksen ja muiden seikkojen yhteisvaikutuksesta. Formaatio ei myöskään ole tuotteen toiminnallinen ominaisuus, kuten lujuus, karheus tai opasiteetti./11/

Formaatio on tärkeä siksi, että jalostuksen ja painojäljen laadun kannalta monien paperin ominaisuuksien vaihtelun vähäisyys voi olla jopa tärkeämpää kuin kyseisten ominaisuuksien taso. Hyvä formaatio vaikuttaa edullisesti mm. lujuuden, karheuden, imukyvyn ja optisten ominaisuuksien tasaisuuteen./11/

3.1.1 Formaation vaikutus painettavuuteen

Formaation epätasaisuus aiheuttaa pienimittakaavaista vaihtelua useisiin paperin pintaominaisuuksiin. Esimerkiksi paperin paksuus vaihtelee formaation epätasaisuudesta johtuen/13/. Flokki-en kohdat ovat niiden välisiä kohtia paksumpia. Paksuusvaihtelut eivät suuresti vaikuta painojäljen laatuun, koska värikerroksen paksuus ja paperin kokoonpuristuvuus kompensoivat paperin paksuuserot/13/.

Formaation epätasaisuus vaikuttaa myös paperin kokoonpuristuvuuteen sekä kuitumateriaalin rakenteeseen. Paperin ohuiden ja paksujen kohtien huokosrakenne on erilainen. Ohuiden kohtien kuituverkosto on avointa ja pinta karheampaa kuin paksuissa kohdissa. Tämä johtuu kalanteroinnin epätasaisesta kuormituksesta flokkien ja niiden välien suhteen. Flokkien kohdat kalanteroituvat keveitä kohtia paremmin, jolloin paperiin syntyy karheusvaihteluja. Kuva 2 havainnollistaa karheusvaihtelun syntymistä kalanteroinnissa./13/



Kuva 2. Karheusvaihtelun syntyminen paperiin kalanteroinnissa. Paksut kohdat kalanteroituvat ohuita paremmin./6/

Taivekartongin tapauksessa teräpäälystys täyttää pohjakarton-
gin ohuita kohtia. Päälystekerros on siis huomattavasti pak-
sumpi fokkien välissä kuin niiden kohdalla. Tällöin paksun
päälysteen kohdalla on tiivis kerros ja flokkien kohdalla
huokoinen päälystekerros.

Formaation vaikutus painojäljen epätasaisuuteen aiheutuu siis pinnan karheuden ja huokosrakenteen pienimittakaavaisesta vaihtelusta. Tällöin painoväriin absorptio vaihtelee. Tästä seuraa vaihtelua painojäljen kiillossa ja densiteetissä./14/

Offset-painatuksessa tärkeitä ominaisuuksia ovat paperin sileys ja mikrokarheus, pinta- ja palstautumislujuus, vedenabsorptio-kyky sekä mittapysyvyys. Formaation vaikutus offsetpainatuksen laatuun johtuu pinnan karheudessa ja huokosrakenteesta olevasta pienimittakaavaisesta vaihtelusta. Nämä aiheuttavat painoväriin epätasaisista absorptiota./15/

Syväpainatuksessa paperilta tai kartongilta vaaditaan ennen kaikkea hyvää sileyttä, kokoonpuristuvuutta ja mittapysyvyyttä. Sileyttä vaaditaan paperin ja painoväriin mahdollisimman hyvän kontaktin luomiseen. Kokoonpuristuvuus voi osittain kompensoida puuttuvaa sileyttä/16/. Formaation epätasaisuus aiheuttaa helposti puuttuvia pisteitä syväpainettavassa paperissa.

Formaation vaikutus painojälkeen tulee esiin myös päällystetyillä kartongeilla. Mitä karheampaa on pohjakartonki, sitä heikomman tuloksen päällystetyille kartongille tehty Heliotestmittaus antaa/17/. Päällystekerros ei pysty peittämään pohjakartongin "muhkuraisuutta", vaan epätasaisuudet näkyvät päällysteen läpi. Voimakas kalanterointi tuo keskikerroksen flokit selvemmin esiin, jolloin formaation vaikutus painettavuuteen on selvempi, ja formaatiolla on vaikutusta myös laminoitavuuteen/18/.

Pohjakartongin formaation on todettu vaikuttavan jenkkisylinterillä saavutettavan kiillon ja sileyden tasaisuuteen. Lisäksi pohjakartongin formaatio vaikuttaa pintaliiman ja päällystepas-

tan absorption tasaisuuteen. Huono formaatio aiheuttaa myös glossskalanteroinnissa epätasaisen pinnan imukyvyn, mikä edelleen aiheuttaa epätasaisen painoväriabsorption./19/

Pintakerroksen heikko formaatio vaikuttaa kartongin pintaominaisuuksiin. Pintakerroksessa käytettävä täyteaine parantaa formaatiota, jos sen retentio on riittävä. Yleensä pintakerroksen viirapuoli tulee kartongin pintaan, jolloin huono formaatio ja retentio aiheuttavat huokosia, joita on vaikea täyttää pintaliimauksessa ja päällystyksessä./4/

3.1.2 Formaation vaikutus lujuusominaisuuksiin

Paperin kevyet kohdat vaikuttavat paperin lujuuteen tavallisesti heikentävästi. Kevyiden kohtien ympäristöön syntyy jännityshuippuja mekaanisessa rasituksessa, jolloin paperi murtuu heikkojen kohtien kautta. Eniten huonontuvat paperin vetolujuus, murtovenymä ja puhkaisulujuus. Sen sijaan repäisylujuus ei muutu formaation heikentyessä. Tämä selittyy sillä, että repäisytestissä ei etsitä paperin heikointa kohtaa, vaan mitataan tietyn kohdan repäisykestävyyttä./20,21/

Vetolujuuden heikkeneminen formaation heiketessä voi johtua myös perälaatikkosakeudesta. Jos perälaatikkosakeus nousee, usein myös formaatio huononee. Perälaatikkosakeuden nousu saa aikaan huopautuneemman rainan rakeenteen kuin alhainen sakeus. Tällöin z-suuntainen lujuus paranee ja tason suuntainen vetolujuus heikkenee./4/

Paperin palstautumislujuus kasvaa formaation huonontuessa. Paperin palstautumislujuus ei riipu paperin heikoimmista koh-

dista, vaan flokkien kohdalla sijaitsevista vahvimista kohdist. Flokissa kuidut ovat vähemmän tason suuntaisesti orientuneina kuin muissa kohdissa, ja tämä lisää z-suuntaista lujuutta./21/

3.2 Kuituorientaatio

Kuituorientaatio on paperin rakenteen tilastollinen ominaisuus, jota kuvaa tilastollinen jakaumafunktio, ns. suuntajakauma tai kuituorientaatiojakauma. Tämä jakauma ilmoittaa paperin tasossa eri suuntiin osoittavien kuitujen suhteellisen osuuden, eli se sisältää informaatiota paperin kuituverkoston geometriasta paperin tason suunnassa. Yleensä kuituja on eniten konesuunnassa ja vähiten poikkisuunnassa tai sen läheisyydessä/9/. Kuituorientaatiota voidaan tarkastella myös kohtisuoraan paperin tasoa vastaan. Z-suuntaisella orientaatiolla on vaikutusta mm. paperin huokoisuuteen ja z-suuntaiseen lujuuteen/22/.

Sekä kuitujen suoruuden että sisäisten jännitysten suuntaisuus voimistaa paperin toiminnallisten ominaisuuksien suuntaisuutta. Erityisesti tämä nämä näkyy paperin kimmomoduulissa ja murtovenymässä sekä dimensiostabiliteetissa./9/

Paperin vinoudella tarkoitetaan sitä, että paperin ominaisuudet eivät ole suuntautuneet kone- ja poikkisuunnan mukaan. Paperin rakeenteessa vinous tarkoittaa kuituorientaatiokulman poikkeamista konesuunnasta/9/. Pakkauskartongin toiminnallisista ominaisuuksista kartongin mittamuutoksiin (dimensiostabiliteettiin) liittyvä vinous on jatkojalostajan kannalta haitallista. Kartongin vinous on yleensä myös profiiliongelma, joten

kuituorientaatiokulman vaihtelu rainan poikkisuunnassa pitäisi minimoida.

4. HUULISUIHKUN HALLINTAPARAMETRIEN VAIKUTUS FORMAATIOON JA ORIENTAATIOON

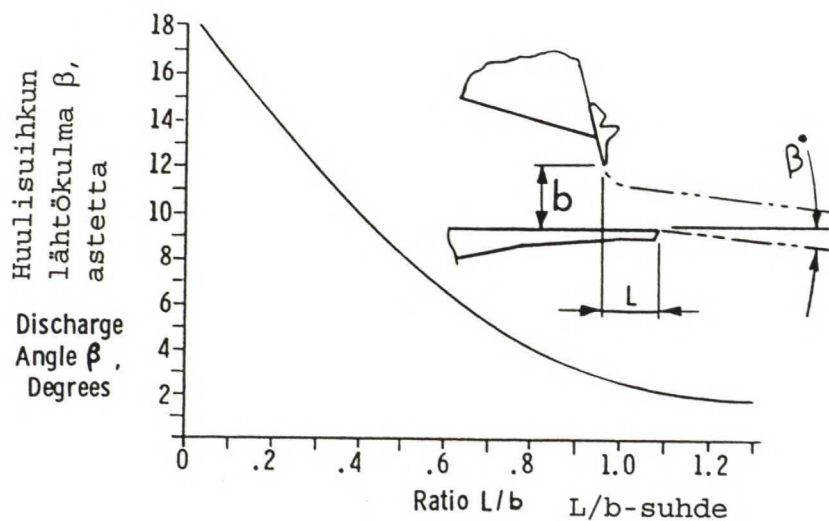
4.1 Vaikutuksia formaatioon

Formaatio on pitkälti suotautumistapahtuman määräämä paperin rakennetekijä. Kerran suotautuneen kuitumaton formaatioon ei voida vaikuttaa, ellei kuitumattoa rikota ja suotauteta uudelleen. Tästä syystä paperin formaatio määräytyy täysin paperikoneen rainaimella./10/

Perälaatikkosakeus on voimakkaasti formaatioon vaikuttava tekijä. Pienellä sakeudella saavutetaan parempi formaatio kuin suurella. Perälaatikossa sulppu pyritään homogenisoimaan sopivalla turbulenssilla niin, että huulisuihkussa esiintyvät flokit ovat mahdollisimman pieniä ja niiden lujuus on pieni. Perälaatikossa ja suotautumisalueella vallitsevassa sakeudessa sulppu kuitenkin flokkaantuu hyvin nopeasti uudelleen suuremmiksi kuitukasautumiksi turbulenssin vaikutuksen lakatessa. Sulpun uudelleen flokkaantuminen suotautusalueella vaikuttaa epäedullisesti paperin formaatioon./7/

Huulisuihkun ja viiran nopeuseron on todettu vaikuttavan paperin formaatioon. Nopeuseron itseisarvon kasvaessa suurenee samalla sulpun ja suotautuneen rainan nopeusero, joka rikkoo rainaan tarttumassa olevia flokkeja. Tällöin formaatio paranee. Nopeuseron edelleen kasvaessa myös kuitumatto saattaa rikkoutua, jolloin formaatio huononee./7,14/

Formaatioon vaikuttava tekijä on myös huulisuihkun pituus huulelta viiraan iskeytymiseen. Lyhyt suihku on stabiilimpi kuin pitkä. Huulisuihkun viiraan iskeytymiseen vaikuttava hallintasuure on kuvassa 3 esitetty huuliaukon (b) ja huulieron (L) suuruus. L/b-suhteella siis säädetään kulmaa, jolla suihku lähtee perälaatikosta, ja siten L/b-suhde on suihkun iskeytymiskohdan tärkein hallintaparametri/23,14/. Pieni L/b-suhde saa aikaan suuren suihkun iskeytymiskulman viiralle (pressure forming), suuri L/b-suhde puolestaan aiheuttaa pienen kulman (velocity forming)./14/



Kuva 3. Huulieron(L) ja -aukon(b) suhteen vaikutus huulisuihkun lähtökulmaan/23/.

Huulisuihkun ja viiran kohtaamispaikalla rintatelaan ja rintapöytään nähden, huulisuihkun ja viiran välisellä iskukulmalla sekä rintapöydällä tapahtuvalla vedenpoistolla on hyvin merkit-

tävä vaikutus rainan rakenteeseen. Parhaaksi ajotavaksi on joissakin tapauksissa osoittautunut se, että huulisuihku ajetaan verraten pienellä iskukulmalla rintapöydän ensimmäisen listan päälle. Jonkin verran vettä pitää kuitenkin poistua jo ennen rintapöydän ensimmäisen listan reunaa, jotta ilman meno viiran mukana rintapöydälle estyisi. Viiran mukana rintapöydälle mennyt ilma saattaa nousta rainan läpi aiheuttaen ns. kalansilmiä. Samasta syystä ei iskukulma saa olla liian pieni. Eräissä tapauksissa huulisuihku ajetaan viiralle rintapöydän eteen tai jopa niin lähelle perälaatikkoa, että myös rintatela osallistuu vedenpoistoon. Initiaalivedenpoisto muuttuu tällöin rajummaksi, mutta samalla suurennetaan viiraosan vedenpoistokapasiteettia./7,14,24/

Rauhallinen initiaalivedenpoisto rintapöydällä edesauttaa hyvän viiraretention ja tasaisen hienoaineen z-jakauman saavuttamista sekä pienentää viiramarkkeerauksen vaaraa. Varovainen initiaalivedenpoisto on eräissä tapauksissa myös edullinen paperin formaation kannalta; se rajoittaa reikien, "pin holesien", syntymistä ohuilla rainoilla sekä tekee mahdolliseksi pienen kuituorientaation saavuttamisen. Jos suotautumisolosuhteet ovat liian rauhalliset, on vaarana sulpun flokkisuuden lisääntyminen ja formaation huononeminen. Initiaalivedenpoiston rajuuteen voidaan huulisuihkun ja viiran kohtaamispisteen ja -kulman lisäksi vaikuttaa rintapöydän kannen rakenteella ja rintapöydässä mahdollisesti olevalla imulla./7/

Kiviranta/4/ on tutkinut alkusuotautumisen vaikutusta taivekartongin runkokerroksen formaatioon. Tutkimusten mukaan mitään suuria muutoksia alkusuotautumista muuttamalla ei formaatioon voida aiheuttaa. Formaatio kuitenkin paranee, kun rintapöydän

kärkilistan kaavausta lisätään. Pääsääntönä hyvän formaation kannalta on se, että kärkilista kaavaa runsaasti vettä./4/

Lisääntyneen alkusuotautumisen formaatiota parantava vaikutus perustuu nopeaan kuitumaton muodostumiseen heti suotautumisen alkuvaiheessa. Nopea suotautuminen aiheuttaa sulppuun flokkeja hajottavia leikkausvoimia, minkä lisäksi perälaatikon generoima turbulenssi vaikuttaa vielä kuitulietteeseen. Mitä suurempi on tässä vaiheessa tapahtuvan vedenpoiston määrä, sitä suurempi on alkusuotautumisen aikana muodostuvan kuitumaton paksuus. Tällöin hyvän formaation omaavan kerroksen osuus koko kerroksen paksuudesta kasvaa ja koko kerroksen formaatio paranee./4/

Huulieron kasvattaminen parantaa formaatiota, kun kärkilistan kaavaus pysyy samana. Toisin sanoen pieni iskukulma on edullinen myös taivekartongin runkokerroksella./4/

Liikutettavasta rintapöydästä on etua, kun halutaan aikaansaada riippumaton alkusuotautumisen säätö laajan tuotantoalueen koneella. Mitä pienempi on koneen nopeus, sitä lähempänä perälaattikkoa rintapöydän kärkilistan tulee olla. Tyypillisillä taivekartonkikoneen nopeuksilla säätöalueen tulisi olla 120-220 mm./4/

Alkusuotautumisen muuttamisella ei ole suurtakaan vaikutusta kokonaisretentioon, vaikka rintapöydän retentio voi alkusuotautumisen muuttumisen takia muuttua muutamia prosenttiyksiköitä. Pieni vaikutus kokonaisretentioon selittyy sillä, että rintapöydällä tapahtuvan vedenpoiston osuus on karkeasti neljännes koko viiraosan vedenpoistosta./4/

4.2 Vaikutuksia kuituorientaatioon

Kuitujen suotautuminen rainan konesuuntaan johtuu suotautuvan sulpun ja jo muodostuneen kuitumaton välillä vallitsevasta nopeuserosta. Kuituorientaatio kasvaa huulisuihkun ja viiran nopeuseron kasvaessa. Samoin massan sakeuden alentaminen peräläättikossa yleensä suurentaa kuituorientaatiota ja parantaa sen hallittavuutta, sillä laimeammassa sulpussa kuidut pääsevät vapaammin asettumaan niitä kääntävän voiman suuntaisiksi./7/

Suihkun ja viiran nopeuserosta aiheutuvaa kuitujen orientoitumista on selitetty kampausteorialla/25/ ja vinon suotautumisen teorialla/26/. Kampausteoriassa kuituorientaation selitetään johtuvan siitä, että jo toisesta päästään kuitumattoon kiinnittyneet kuidut kääntyvät sulpun ja kuitumaton nopeuseron vaikutuksesta nopeuseron suuntaan. Vinon suotautumisen teoriassa kuitujen orientoitumissuunnan määrää huulisuihkun nopeuseron ja suotonopeuden resultantti, jonka suuntaiseksi kuidut projisoituvat viiralle.

Kuituorientaatioon vaikuttaa myös se, että kiihdytettäessä sulppua huulikanavassa pyrkii kuidun päiden välillä vallitseva nopeusero kääntämään kuidun virtauksen suuntaiseksi. Mitä pitempi ja jäykempi kuitu on, sitä tehokkaammin se orientoituu virtauksen suuntaan. Kiihdytyksen loputtua orientaatio häviää nopeasti jo suotautumisen alkuvaiheissa. Tästä aiheutuu, että vain lähellä viiraa olevat ensin suotautuneet kuidut jäävät koneensuuntaisiksi. Initiaalivedenpoiston lisääminen lisää siten myös konesuuntaista kuituorientaatiota./10/

Myös jakotukin tasapaino vaikuttaa kuituorientaatioprofiiliin. Kierrätysventtiilin pitäisi pystyä tasapainottamaan jakotukin

virtaus koko leveydeltä, jolloin perälaatikon poikittaisvirtauksia ei esiinny/23/. Jakotukki on tasapainossa, kun käyttö- ja hoitopuolella on yhtä suuri paine. Ohikierrätysventtiilin sulkeminen nostaa käyttöpuolen painetta ja avaaminen hoitopuolen painetta. Pienetkin huulisuihkun poikkeamat konesuuntaan nähden voivat aiheuttaa suuren orientaatiokulman paperiin/28/..

Konesuuntaista venytystä tarvitaan rainan stabilisoimiseksi avoimissa väleissä. Tästä seuraa paperikoneen nopeudesta ja paperilajista riippuva alaraja paperin toiminnallisten ominaisuuksien anisotropialle. Vaikka viiraosalla kuituorientaatio saataisiin isotrooppiseksi, märkävenytyksessä syntyvä kuituominaisuuksien suuntaisuus johtaa anisotrooppiseen paperiin. Kuituorientaatiomuutosten vaikutus voi jopa osittain peittyä, jos määrän rainan kireys pidetään vakiona suihkun ja viiran nopeuseroa muutettaessa./9/

Kitkavoimien vaikutuksesta sulpun ja kuitumaton nopeusero pienenee suotautumisen edistyessä. Tasoviiralla suotautetun rainan kuituorientaatio pienenee tästä syystä yläpuolta kohti mentäessä. Mikäli iskugeometria on sama, ei saavutettavan kuituorientaation kannalta ole suurta merkitystä sillä, onko huulisuihkun nopeus suurempi vai pienempi kuin viiran nopeus./7/

Söremarkin, Johanssonin ja Kivirannan/29/ mukaan kartongissa on usein kuituorientaatiosta aiheutuvia vanoja. Reikätelaperälaatikko tuottaa erilaisia orientaatiovanoja kuin hydraulinen perälaatikko. Reikätelaperälaatikko tekee suoria teräviä vanoja, kun taas hydraulisella perälaatikolla vanojen rajat ovat häilyviä. Pilot-koneella tehtyjen havaintojen mukaan kuituorientaatiosta johtuvaa vanaisuutta voidaan huomattavasti vähentää lisäämällä huulisuihkun ja viiran välistä nopeuseroa./29/

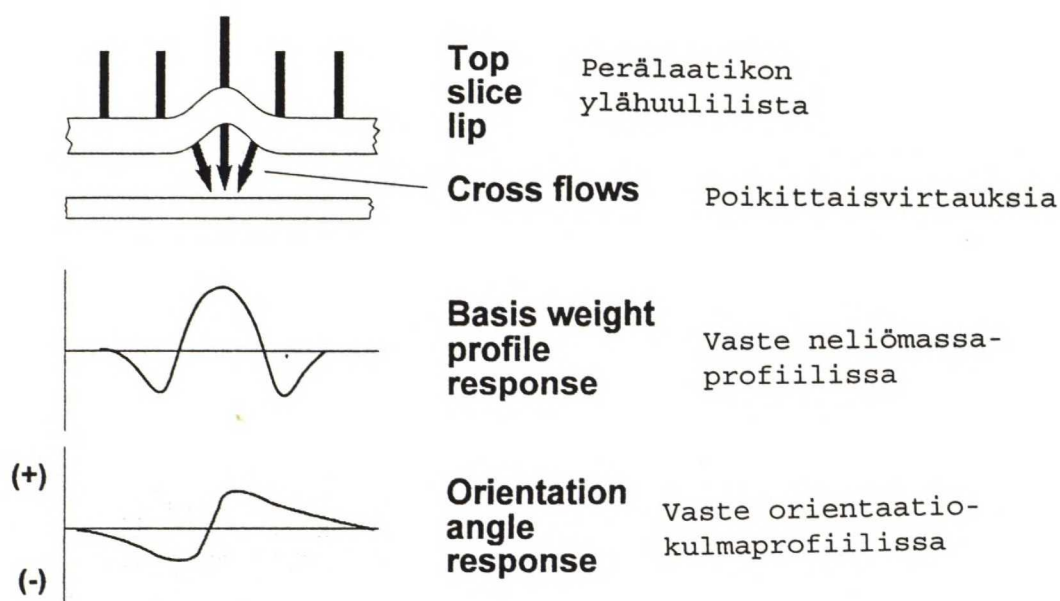
5. PERÄLAATIKON ROOLI PROFIILINHALLINNASSA

Seuraavassa tarkastellaan huulisuihkun vaikutuksia neliömassa- ja kuituorientaatioprofiileihin sekä reuna-aaltojen syntymistä.

5.1 Karavaste

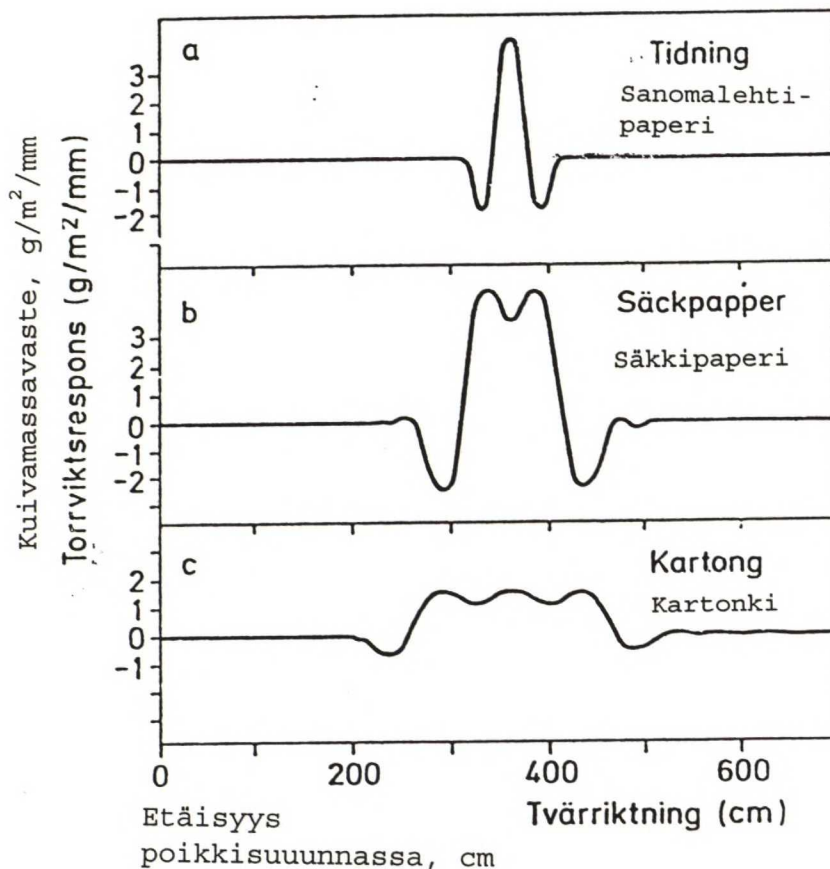
Tiheällä huulen säätöruuvivälillä pystytään korjaamaan kapeita-kin vanoja, jos vain neliömassaprofiilin mittausta on riittävän tiheä ja mittapää riittävän tarkasti kohdistettavissa rainan poikkisuunnassa./30/

Tutkimuksissa/30/ on todettu kuvan 4 mukainen vaste kuivamassa-profiilissa, kun yhtä huulikaraa on liikuteltu. Kuvasta huomataan, että yhden karan avaaminen johtaa tässä tapauksessa neliömassan pienenemiseen säätökohdan vieressä.



Kuva 4. Huulen yhden säätöruuvin vaikutus neliömassaprofiiliin ja kuituorientaatioprofiiliin/31/

Kuvassa 5 on edelleen erilaisia yhden säätöruuvin aiheuttamia kuivamassavasteita eri paperi- ja kartonkilajeilla. Vasteissa voidaan todeta huomattavia muoto- ja leveyseroja. Kuvasta selviää, että sanomalehtipaperilla vaste on vain muutaman säätöruuvin matkalla. Säkkipaperilla ja kartongilla vaste on huomattavasti leveämpi ja lisäksi sivuvanojen muodostus kaukana säätökohdasta on voimakasta. Molemmat seikat aiheuttavat sen, että automaattisen kuivamassaprofiilin säätö on vaikeampi tehtävä kartonkikoneella kuin sanomalehtikoneella. Yleensä kuivamassaprofiilin vaste on voimakkaasti paitsi paperilaji- myös perälaatikkokohtainen. Säätöalgoritmia pitäisi pystyä muuttamaan esim. huuliaukon mukaan./30/



Kuva 5. Eri paperilajeilla saatuja kuivamassaprofiilin vasteita säädettäessä yhtä huulikaraa/30/.

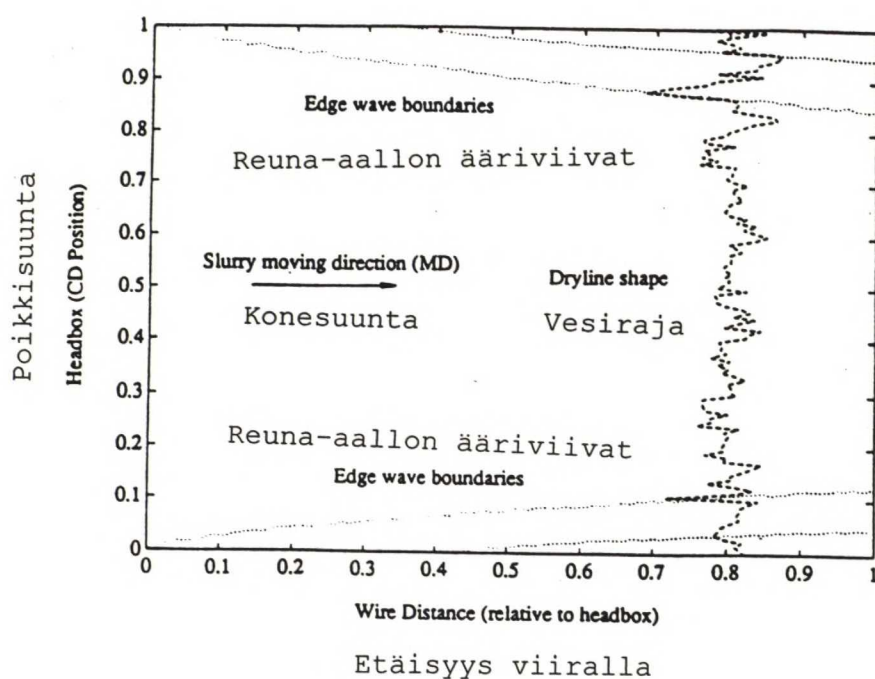
On vielä muistettava, että huulen yhden säätölaitteen vaste paperi- tai kartonkirainassa on voimakkaasti riippuvainen em. seikkojen lisäksi koneen nopeudesta ja viiralla tapahtuvasta vedenpoistosta./32/

Beetsin/33/ mukaan luotettavan automaattisen neliömassaprofiilin säädön aikaansaaminen edellyttää seuraavia seikkoja:

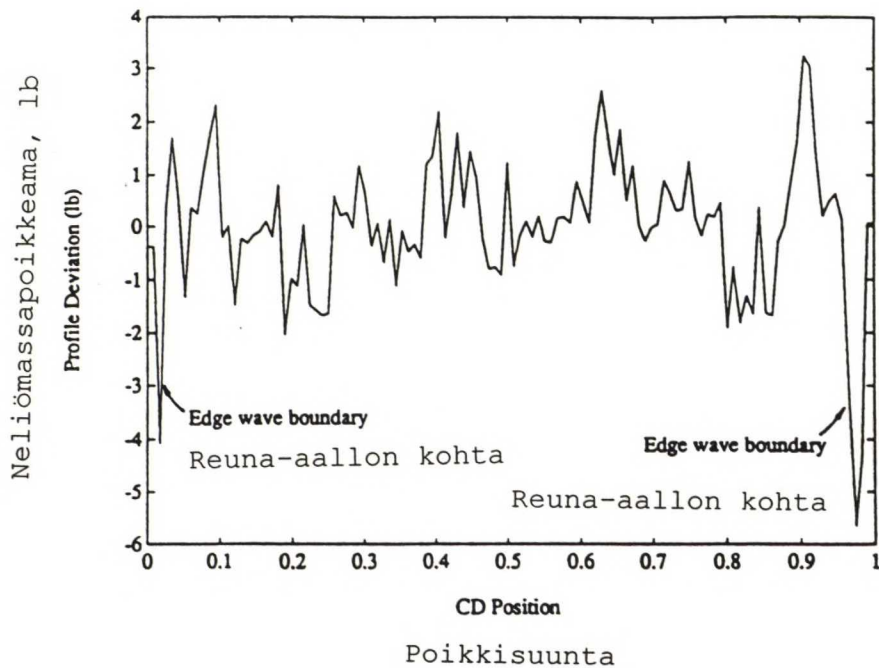
- Ylähuulen sallittuja taipumarajoja ei ylitetä.
- Alahuulen suoruus on kriittinen tekijä.
- Säädön toimilaitteiden toimivuus.
 - * vällys
 - * säädön vahvistus (neliömassan muutos jaettuna huulen liikkeellä)
 - * yhden säätösauvan vaikutus profiiliin
 - * säätöalue, johon vaikuttavat vahvistus, yhden säätösauvan liikkeen aiheuttama vaste ja vierekkäisten sauvojen sallittu säätöero
 - * liikkeen mittaussanturien kunto
- säätöalgoritmia pitää pystyä muuttamaan automaattisesti on line -tilanteessa, koska yhden säätösauvan vaste muuttuu esim. tuotteen, koneen nopeuden ja vedenpoiston mukaan.
- Mittaustiheyden poikkisuunnassa on oltava riittävä, jotta myös kapeat vanat saadaan selville.
- Profiilin säätösauvoja on oltava riittävän tiheästi, jotta mahdollisimman kapeat vanat pystyttäisiin korjaamaan.
- On huomioitava rainan kutistuma ja sivusuuntainen liike ja sovitettava niiden perusteella neliömassaprofiilin mittaus-tulos ylähuulen karajakoon.
- On huomioitava mittausjärjestelmän oikea kommunikointi säätöjärjestelmän kanssa ja säätöalgoritmien taipumus generoida poikkisuunnassa jaksollisesti esiintyviä vanoja.

5.2 Reuna-aallot

Raskailla lajeilla on profiilin hallinta radan reuna-alueilla ongelmallista. Raskaita lajeja ajetaan suurilla huuliaukoilla ja suurella massavirralla, jolloin massa valuu helposti viiran reunan yli. Massan valumisen estämiseen käytetään reunaviivaimia tai viiran kohottamista reunoilta. Näiden molempien keinojen vaikutuksesta syntyy massakerrokseen heijastusten vuoksi reuna-aalto, jonka muodostumista viiralla ja näkymistä vesirajassa on esitetty kuvassa 6. Tyypillisesti reuna-aallon vaikutus rainan neliömassaprofiilissa näkyy kuvassa 7 esitetyllä tavalla reunan lähellä olevina ohuempina kohtina./32/



Kuva 6. Aallon heijastuminen reunaviivaimesta tai viiran noston vuoksi, ja ilmiön näkyminen vesirajassa/32/.



Kuva 7. Reuna-aallon vaikutus neliömassaprofiiliin/32/.

Reuna-aaltojen esiintyminen riippuu suuresti reunaviivaimista tai viiran kohottamisesta reunoilta. Viivaimien tai viiran reunan kohottamisen avulla voidaan vaikuttaa reuna-aallon alkukohtaan ja voimakkuuteen. Parhaan mahdollisen massapinnan rajauksen lisäksi reuna-aallon vaikutus pitäisi pyrkiä huomioimaan myös automaattisen profiilinsäädön laskenta-algoritmeissa.

6. FORMAATION JA KUITUORIENTAATION MITTAUSMENETELMÄT

Jotta huulisuihkun parametrien vaikutusta kartongin laatuun voitaisiin tarkastella, on löydettävä relevantit mittausmenetelmät sekä formaatiolle että kuituorientaatiolle.

6.1 Formaation mittaamenetelmiä

Formaatiota mitataan sekä on line -menetelmillä että laboratoriomenetelmillä. On line -mittarit perustuvat valonläpäisyn mittaamiseen. Valonlähteenä on usein laser. On line -mittareilla voidaan havaita muutoksia formaatiossa, mikä helpottaa prosessin ohjaamista. Jos halutaan tarkempia formaatiomäärityksiä, joissa on mitattu jotakin formaation tunnuslukua, on käytettävä off line -sovellutuksia. Off line -formaatiomittarissa mittausta tehdään tavallisesti yksittäisestä arkista, jossa mitattava pinta-ala on mittalaitteesta riippuen 20-500 cm²/11/.

Paperin pohjanmuodostusta on perinteisesti arvioitu katsomalla paperin läpi tulevaa valoa. Paperin pohja antaa käsityksen paperin neliömassajakaumasta kalanteroimattomilla ja päällystämättömillä papereilla. Paperin optisen tiheyden vaihtelun takia pohja ei anna todellista kuvaa formaatiosta voimakkaasti kalanteroituilla, värillisillä tai päällystetyillä papereilla./21, 6,10/

Formaatiota voidaan mitata joko suoraan punnitsemalla tai epäsuorasti mittaamalla jotain ominaisuutta, jonka tiedetään riippuvan neliömassasta. Valon tai ionisoivan säteilyn käyttö ovat tavallisia epäsuoria menetelmiä. Koska formaatio tarkoittaa neliömassan vaihtelua paperin tasossa, täytyy kulloinkin käytetyssä mittaamenetelmässä pystyä kalibroimaan mittasignaali neliömassan arvoiksi. Useimmat kaupalliset formaatiomittarit eivät täytä tätä vaatimusta./6/

Formaation luonnehtimiseksi on kehitetty useita menetelmiä, jotka perustuvat punnitsemiseen, valonläpäisyyteen, beta-, röntgen- tai infrapunasäteilyyn./21/

6.1.1 Punnitseminen

Mitattaessa formaatiota suoraan paperista leikataan ja punnitaan useita pieniä kappaleita ja lasketaan näin saatujen neliömassa-arvojen keskihajonta. Tämä on äärimmäisen hidas menetelmä, eikä edes kovin tarkka, kun punnittavat kappaleet ovat pieniä./6/

6.1.2 Ionisoiva säteily

Ionisoivan säteilyn lajeja ovat röntgen-, alfa-, beta-, ja gammasäteily. Näistä tulevat kysymykseen beta- ja röntgensäteily, koska niiden läpäisy on sopiva formaation mittausta varten.

Kun betasäteily läpäisee paperiarkin kohdasta, jonka neliömassa on $m(x)$, paperin läpäisseen säteilyn intensiteetti on

$$I(x) = I_0 e^{-\alpha m(x)} \quad (1)$$

missä I_0 on paperiin kohdistetun säteilyn intensiteetti ja α massa-absorptiokerroin. Mittausperiaate on sama kuin paperin neliömassan ja neliömassaprofiilin on line -mittareissa; ainoastaan mittauksen fyysinen toteutus on erilainen.

Betasäteily vaimenee väliaineessa, kun betahiukkaset siroavat väliaineen atomien elektroneista. Samalla ne menettävät osan

energiastaan. Kun betahiukkasen energia, ja samalla nopeus, on useiden siroamisten jälkeen tullut kyllin pieneksi, betahiuk-
kanen joutuu jonkin väliaineen kaappaamaksi. Betasäteilyn vai-
meneminen väliaineessa riippuu siis säteilyn energiasta ja
väliaineessa olevien elektronien määrästä./11/

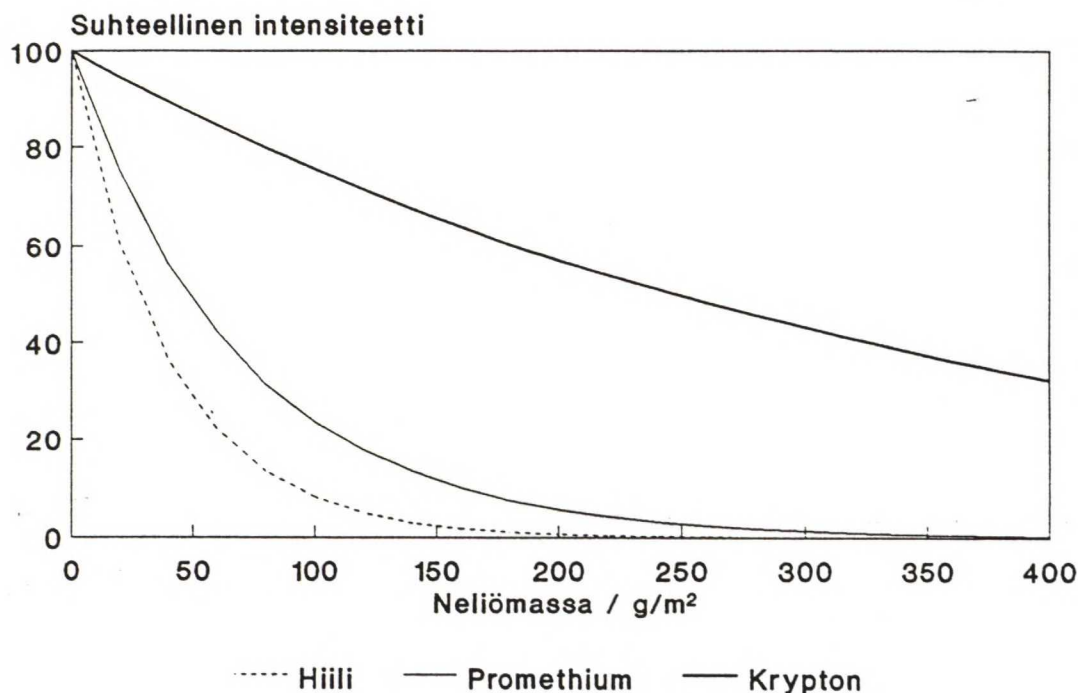
Erityisen käyttökelpoiseksi betasäteilyn tekee se, että
säteilyn vaimennuskerroin α on lähes sama kaikilla keveillä ja
keskiraskailla alkuaineilla, joten vaimennus on vakio kaikille
paperinvalmistuksessa käytettäville materiaaleille. Tämän
seurauksena betasäteilyllä mitattu neliömassa-arvo ei riipu
paperin raaka-ainekomponenttien epätasaisesta jakautumisesta
arkissa./6/

Vaimennuskerroin α riippuu säteilylähteestä. Paras erotuskyky
saavutetaan, kun yhtälössä (1) dI/dm on maksimissaan $\alpha:n$
suhteen halutulla neliömassa-alueella. Yhtälön (1) dI/dm on
maksimissaan, kun $\alpha=1/m$.

Mittauksen edellytyksenä on, että säteilylähde on puhdas be-
tasäteilijä. Formaatiomittaukseen sopivan vaimennuskertoimen
omaavia säteilijöitä ovat paperille prometium-147 isotooppi
($\alpha=0,016 \text{ m}^2/\text{g}$) ja kartongille krypton-85 isotooppi ($\alpha=0,002$
 m^2/g). Näitä käytetään myös neliömassan on line -mittareissa.
Formaation mittauksessa käytetään näiden lisäksi myös hiili-
14:a ($\alpha=0,033 \text{ m}^2/\text{g}$), joka on riittävä säteilylähde alle 100
 g/m^2 papereille./6,11/

Kuvassa 8 on havainnollistettu eri betasäteilijöiden säteilyn
intensiteetin vaimenemista väliaineessa kaavan (1) mukaan.

Jokaisella säteilylajilla on tietty näytteen neliömassataso, jossa tämä säteily antaa parhaan mittauksen erotuskyvyn./11/



Kuva 8. Formaatiomittaukseen käytettyjen β -säteilijöiden säteilyn intensiteetin vaimeneminen väliaineessa./11/

Betasäteilyä käytetään suorassa mittauksessa tai epäsuorassa radiografiamittauksessa. Suorassa mittauksessa 1 mm halkaisijainen betasäteilysuihku ohjataan kohtisuoraan paperin läpi ja paperin läpäissyt säteily mitataan paperin toiselta puolelta. Mittaus toistetaan eri kohdista paperia kunnes pisteitä on niin paljon, että neliömassan hajonta voidaan määrittää luotettavasti. Esimerkiksi 400 pistettä on jo riittävä määrä./6/

Betasäteilyn lisäksi formaatiota voidaan mitata pehmeällä röntgensäteilyllä/34/. Mittauksen tuloksena saadaan radiogrammin kaltainen röntgenkuva paperista. Betaradiografiaan verrattuna

etuna on lyhyet valotusajat. Haittapuolina on kuvien heikko kontrasti, röntgensäteilykentän epätasaisuus sekä röntgensäteilyn vaimenemisen riippuvuus väliaineen luonteesta, minkä seurauksena täyteaineen tai päällysteen merkitys korostuu./34,11/

Gammasäteilyn käyttö formaatiomittauksessa on harvinaista. Formaatiomittaukseen soveltuu γ -säteilijäksi esimerkiksi rauta-55, jonka absorptiokerroin kuidussa on $0,002 \text{ m}^2/\text{g}$ ja puoliintumisaika 2,9 vuotta./11/

6.1.3 Näkyvä valo

Optisessa formaatiomittauksessa mitataan paperin läpäisseen valon intensiteetin paikallista vaihtelua. Valon transmittanssi T on usean tekijän funktio/6/.

$$T = T(m(\bar{x}), s(\bar{x}), k(\bar{x})) \quad (2)$$

missä $m(\bar{x})$ on neliömassa, $s(\bar{x})$ on valon sirontakerroin, $k(\bar{x})$ on valon absorptiokerroin ja \bar{x} on paikkavektori. Mittaustulos riippuu siis paitsi neliömassajakaumasta myös paperin optisista ominaisuuksista ja niiden jakaumasta. Näistä valon sirontakerroin on yleensä merkittävämpi tekijä lukuunottamatta valkaimattomia tai värjättyjä paperilaatuja, joilla myös valon absorptiokertoimella on huomattava merkitys. Optisen formaatiomittarin tulos voi myös riippua käytetyn valonlähteen spektristä sekä detektorin herkkyydestä.

Yhteys neliömassan ja valon transmission välillä ei ole niin yksikäsitteinen kuin β -säteilyllä. Erityisesti tämä pätee paperille, joiden optisten ominaisuuksien tiedetään vaihtelevan

voimakkaasti. Optiset ominaisuudet vaihtelevat voimakkaasti mm. kalanteroiduilla papereilla, päällystetyillä papereilla sekä värjätyillä papereilla. Myös runsaasti täyteainetta sisältäviin papereihin kannattaa suhtautua varauksellisesti./6/

6.1.4 Näytteenotto

Formaatio ei ole vakio koko paperikoneen tuotannolle, vaan sillä on omat kone- ja poikkisuuntaiset profiilinsa sekä satunnaisvaihtelua, aivan kuten muillakin paperin ominaisuuksilla. Formaation poikkisuuntaisen profiilin takia näytearkkeja tulisi ottaa kohtuullinen määrä tasaisin välein koko koneen leveydeltä. Samoin konesuuntaisen profiilin takia näytteet tulisi ottaa muutamasta erillisestä poikkiratanäytteestä. Yleensä mitattujen arkkien määrä on välillä 4-16./6/

6.1.5 Formaation tunnusluvut

Formaatio on standardoimaton suure, joten mittayksiköiden käyttö on kirjavaa. Formaation epätasaisuuden kuvaamiseen on käytetty esimerkiksi neliömassahajontaa tai variaatiokerrointa, mutta ne ovat vertailukelpoisia vain saman neliömassan näytteillä/21/.

Neliömassavaihtelun hajonta on hyvä ja yksinkertainen neliömassavaihtelun voimakkuutta kuvaava tunnusluku, jota käytetään monissa formaatiomittareissa. Eri mittareilla mitattuja hajonta-arvoja ei kuitenkaan välttämättä voida verrata keskenään. Hajonnan kuten muidenkin mittauksen tunnuslukujen arvo riippuu mittauksessa käytetystä geometriasta./11/

Monissa formaation tunnusluvuissa on pyritty ottamaan huomioon se, että neliömassavaihtelun voimakkuus ja hajonta ovat suuri-neliömassaisilla tuotteilla suurempia kuin kevyillä tuotteilla. Esimerkiksi formaatioindeksissä:

$$F = s/\sqrt{m} \quad (3)$$

neliömassahajonta on jaettu keskimääräisen neliömassan m neliöjuurella./11/

Variaatiokerroin on aikaisemmin ollut tavallinen neliömassan tunnusluku. Variaatiokertoimeen

$$V = 100*s/m \quad (4)$$

joka on neliömassahajonta jaettuna keskimääräisellä neliömassalla, vaikuttaa kuitenkin usein häiritsevästi neliömassan m vaihtelu. Keskimääräisen neliömassan vaikutus formaatioindeksiin on pienempi kuin variaatiokertoimeen./11/

6.2 Kuituorientaation mittaus

Yleensä kuituorientaation mittaus tapahtuu epäsuorasti optisella, sähköisellä tai mekaanisella menetelmällä. Tällaisesta mittauksesta saadaan tulokseksi konesuuntaisen kuituorientaation voimakkuutta kuvaava tunnusluku eli orientaationsuhde R ./9,28/

Tavallisin kuituorientaation yhteydessä oleva tunnusluku on vetolujuussuhde (ks/ps) R_T . Orientaationsuhteen arvo 1 tarkoittaa

taa isotrooppista kuituorientaatiota, eli kuituja on kaikissa paperin tason suunnissa yhtä paljon. Mitä suurempi orientaatio-suhde on, sitä enemmän kuidut ovat suuntautuneet konesuuntaan. Epäsuoran mittauksen antaman orientaationsuhteen yhteys todelliseen kuituorientaatiojakaumaan riippuu mittausmenetelmästä, eikä eri mittausmenetelmillä saatuja orientaationsuhteita voida suoraan verrata keskenään./35/

Orientaationsuhteen lisäksi kuituorientaatiomittauksesta saadaan tulokseksi orientaatiokulma ϕ . Orientaatiokulma osoittaa kuinka paljon kuitujen keskimääräinen suunta poikkeaa konesuunnasta. Tämä poikkeama vaikuttaa paperin toiminnallisiin ominaisuuksiin ja voi johtaa vinoon muodonmuutokseen tai diagonaaliseen käyristymiseen. Lisäksi orientaatiokulma on herkkä rainanmuodostuksen stabiilisuuden mitta./9/

Paperin orientaation mittaamiseen käytetään varsin paljon ultraäänimenetelmää, jolla itse asiassa saadaan selville paperin kimmomodulin suuntaisuus. Kimmomodulisuhde R_E ilmoittaa kimmomodulin suuntaisuuden ja vastaa vetolujuussuhdetta R_T . Suuntaikulma ϕ_E puolestaan kuvaa kuituorientaatiokulmaa ϕ . Ultraäänimenetelmä on nopea ja antaa siten mahdollisuuden orientaatioprofiilin mittaamiseen koko paperirainan leveydeltä./9/

Valon diffuusion perusteella voidaan mitata kuituorientaatiota lasersäteellä. Näytteen läpäisseeistä säteilystä saadaan valon diffusioon perustuva orientaationsuhde R_L . Myös valon heijastuksen käyttäminen kuituorientaation määrittämisessä on mahdollista. Tällöin näyte on halkaistava enintään 20 g/m^2 :n kerrokseen ja määritettävä orientaatio kerroksista erikseen./35/

Röntgenmenetelmässä mitataan kuidun kristallisten alueiden suuntajakaumaa. Röntgensäde suunnataan kohtisuoraan näytteen seen, ja sironneen röntgensäteilyn intensiteetistä pystytään määrittämään näytteen orientaatio. Orientaatiosta saadaan edelleen orientaationsuhde R_x ./35/

7. KIRJALLISUUSOSAN YHTEENVETO

Kirjallisuudessa on taivekartongin tuoteanalyysin avulla tarkasteltu tärkeimpiä taivekartongin tilasuureita sekä tarkasteltu huulisuihkun hallintaparametrien vaikutusta taivekartongin laatuun, lähinnä formaatioon ja kuituorientaatioon. Lisäksi on tutustuttu formaation ja orientaation mittaamenetelmiin.

Kirjallisuuden perusteella perälaatikosta viiralle tulevan massasulpun flokkisuustila vaikuttaa erittäin ratkaisevasti formaatioon. Kuituflokkien pilkkoutuminen riittävän pieniksi saadaan aikaan massasulpussa vallitsevalla turbulenssilla perälaatikossa ja rainanmuodostusalueella. Turbulenssin suuruuteen vaikuttaa mm. massan koostumus, perälaatikon rakenne, viiraosan kalustus ja ajonopeus. Perälaatikon hallintaparametreista tärkeitä ovat massan sakeus, huulisuihkun iskukulma ja iskeytymispaikka rintapöytään nähden. Myös huulisuihkun ja viiran välisellä nopeuserolla voidaan vaikuttaa formaatioon, ja varsinkin kuituorientaatioon.

Kirjallisuuden perusteella rainanmuodostus on ratkaisevin tekijä hyvän formaation ja kuituorientaation saavuttamisessa. Huulisuihkulla on keskeinen osuus rainanmuodostuksessa, joten huulisuihkun optimoimisella voidaan ainakin jossain määrin parantaa lopputuotteen ominaisuuksia.

8. KOKEELLISEN OSAN TAVOITE

Tämän diplomityön kokeellisessa osassa oli tarkoitus tutkia tehdaskoeajoin huulisuihkun hallintaparametrien vaikutusta taivekartongin laatuun. Koeajot tehtiin Inkeröiden KK4:llä normaalin tuotannon yhteydessä.

Kirjallisuuden perusteella pohjakartongin formaatioon ei voida juurikaan vaikuttaa enää viiraosan jälkeen. Tässä työssä tutkimusalue on rajattu ainoastaan perälaatikoiden huulisuihkuihin. Huulisuihkujen lisäksi formaatioon vaikuttavia tekijöitä on erittäin paljon mm. massakoostumukset, jauhatukset, perälaatikoiden turbulenssit ennen huulisuihkua, ja viiraosan massapinnan värähtelyä aiheuttavat vedenpoistoelimet huulisuihkun jälkeen. Huulisuihkussa formaatioon vaikuttavia tekijöitä ovat esim. ulosvirtauksen määrä (perälaatikkosakeus), suihkun ja viiran nopeusero, suihkun iskukulma ja iskupiste rintapöytään nähden (esisuodatus). Myös kartongin kuituorientaatio määräytyy rainanmuodostusalueella.

Koeajojen aikana päätettiin seurata myös muutosten vaikutusta koneen tasapainoon keräämällä viiden minuutin välein tietoja prosessitietojärjestelmästä. Kerättäviä tietoja oli reilusti yli sata, ja näiden tietojen avulla voitiin seurata koeajoon vaikuttavia häiriösuureita. Lisäksi tiedonkeruulla seurattiin mm. koneen tyhjöjärjestelmän käyttäytymistä muutostilanteissa.

Reuna-aaltojen suuruus, ja vaikutukset kartongin poikkisuuntaisiin profiileihin olivat tarkkailtavana muutosten yhteydessä.

Formaation ja orientaation vaikutusta kartongin muihin laatuominaisuuksiin selvitettiin laboratoriotestauksin ja koepainatuksella.

Koeajojen yhteydessä oli tarkoitus selvittää myös kartongin rullausvaurioiden syntymistä poperullauksessa. Kartongin rullaus on aiemmin aiheuttanut jonkin verran kartongin laadun heikkenemistä, ja nyt haluttiin selvittää mikä tilanne on tällä hetkellä.

9. INKEROISTEN KARTONKIKONE 4:N ESITTELY

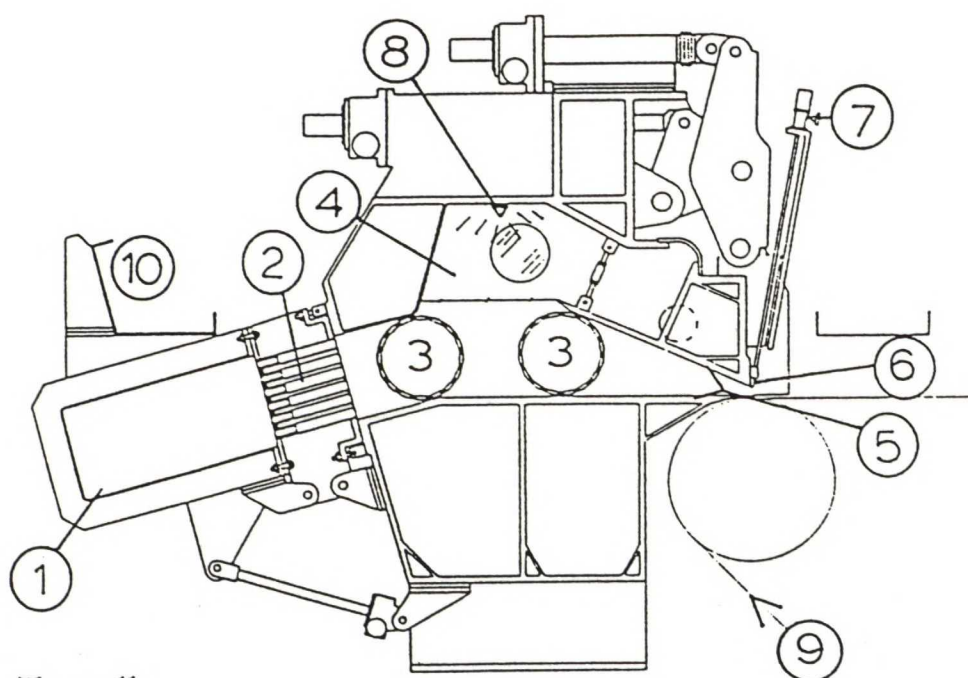
Tampellan konepajan toimittama Inkeröisten kartonkitehtaan KK4 on käynnistynyt vuonna 1965, ja sitä on uudistettu vuosina 1980, 1983, 1990. Koneen nykyinen tuotantokapasiteetti on 175.000 t/a. Koneen neliömassa-alue on 200-385 g/m². Taivekartonkia valmistetaan kolmea lajia. Tamfold (TF) on pinnasta kertaalleen päällystetty ja taustasta pintaliimattu. Tambrite (TB) on pinnasta kahteen kertaan päällystetty ja taustasta pintaliimattu. Tamwhite (TW) on pinnasta kahteen kertaan päällystetty ja myös tausta on kertaalleen päällystetty.

Kartongin taustakerros on 18-27 g/m², ja kuiduista 50 % on valkaistua mäntysulfaattia ja 50 % valkaistua koivusulfaattia. Runkokerroksen neliömassa vaihtelee koko kartongin neliömassan mukaan alueella 115-290 g/m². Runkokerroksesta on 60-80 % painehioketta (PGW) ja loppu kartongin valmistushylkyä. Pinta-kerros painaa 40-45 g/m², ja kuituina on valkaistua koivusulfaattia.

KK4:n hyötyleveys rullaimella on 4550 mm ja käyttöjen mitoitusnopeus 500 m/min.

9.1 Perälaatikot ja viiraosa

Kartonkikone 4:llä on kolme kuvan 9 mukaista Tampellan TAMFLO R reikätelaperälaatikkoa.



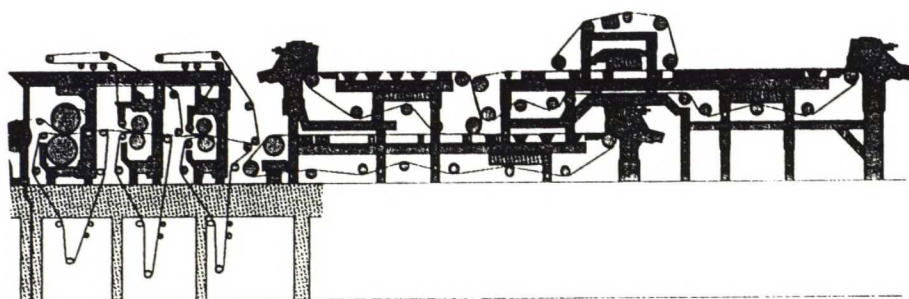
Tampella

Pneumaattinen perälaatikko Tamflo R

- | | |
|----------------------|----------------------------|
| 1. Jakotukki | 6. Huulilista |
| 2. Jakoputkisto | 7. Huulilistan säätöruuvit |
| 3. Reikätelat | 8. Vesisuihku |
| 4. Ilmatyynylaatikko | 9. Viira |
| 5. ylä- ja alahuuli | 10. Hoitosilta |

Kuva 9. Tamflo R -reikätelaperälaatikko/36/.

Viiraosalla on oma tasoviira jokaiselle perälaatikolle. Taus-takerroksen viiran yläpuolella on pinta- ja runkokerroksen tasoviirat. Runkokerroksen viiralla on vielä oma yläviirayksik-könsä. Viiraosa on esitetty kuvassa 10.



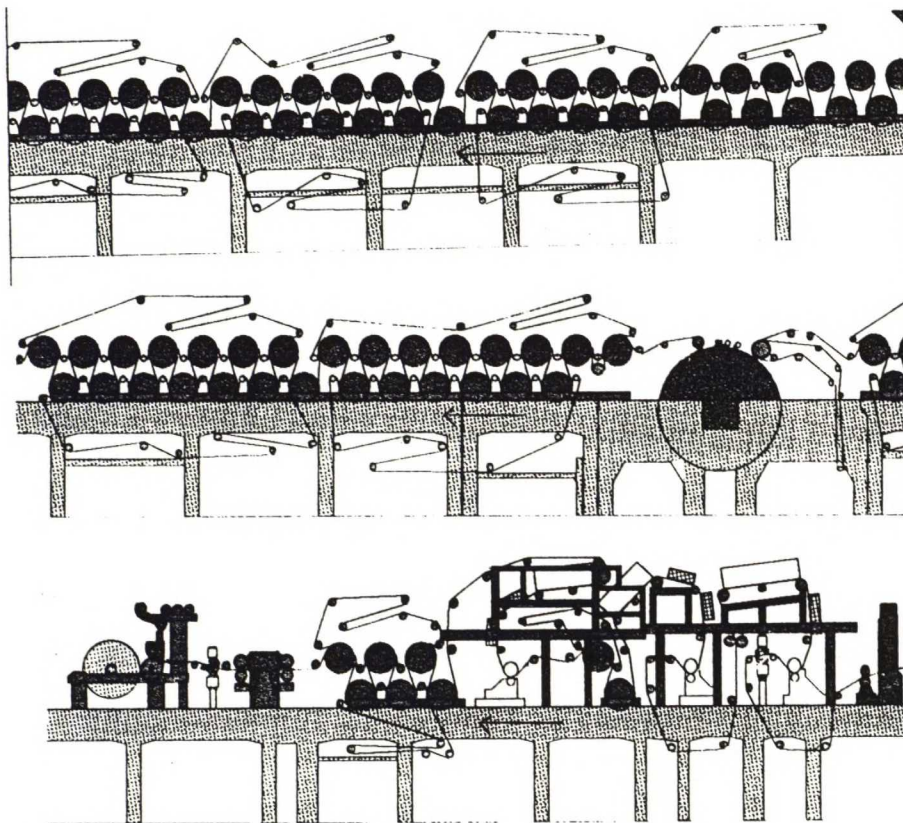
Kuva 10. Inkeröisten KK4:n viira- ja puristinosa/37/.

9.2 Puristinosa

Kartonkikone 4:n puristinosa on taivekartonkikoneelle tyypillinen suora puristinosa (kuva 10). Ensimmäisessä nipissä on sekä ylä- että alahuopa, ylätelana on sokeaporattu tela ja alatelana imutela. Toisessa nipissä erona ensimmäiseen on se, että molemmat telat ovat sokeaporattuja, ja ylätela on taipu-makompensoitu. Kolmannella puristimella on vain alahuopa. Kolmospuristimen telat ovat sileitä, halkaisijaltaan suuria teloja. Kolmas nippi on ns. pitkänippipuristin.

9.3 Kuivatusosa

Kuivatusosalla on 7 kuivatusryhmää, joissa on 73 kpl 1500mm halkaisijaltaan olevia sylintereitä. Viidennen ja kuudennen kuivatusryhmän välissä on MG-sylinteri. Kuivatusosan jälkeen on välikalanteri. KK4:n kuivatusosa on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11. KK4:n rakenne kuivatusosalta rullaimelle. Puristinosan jälkeen tulee etukuivatusosa, jenkkisylinteri, jälkikuivatusosa, välikalanteri, päällystysosa, gloss-kalanteri ja poperulaus/37/.

9.4 Päällystys ja viimeistely

Päällystysosa on varustettu kolmella Jagenberg Combi-blade -teräpäällystysasemalla molemminpuolista päällystystä varten. Päällysteen kuivatus suoritetaan jokaisen päällystysaseman jälkeen kaasuinfralla ja ilma kuivaimella. Toisen päällystysaseman jälkeen on kaksi kuivatussylinteriä ja kolmannen jälkeen kuusi (kuva 11).

Päällystysosan ja poperullauksen välissä on vielä glosskalanteri. Kalanteri koostuu kahdesta 2-telaisesta kalanterista yhteisellä rungolla. Ylätelat ovat lämmitettäviä kokilliteloja ja alatelat ovat joustavalla pinnoitteella varustettuja taipu- makompensoituja teloja.

10. HUULISUIHKUN PARAMETRIEN MITTAUS- JA LASKENTA- MENETELMÄT

Koska tässä työssä tutkitaan perälaatikoiden huulisuihkujen hallintaa, seuraavassa on lyhyesti selostettu huulisuihkun parametrien mitta- ja laskentaperiaatteita. Lisäksi on kerrottu Valmetin Optijet-huulisuihkulaskennasta saatavasta informaatiosta.

10.1 Perinteinen huulisuihkulaskenta ja perälaatikon säätöperiaate

Perälaatikoon liittyvistä säädöistä ja mittauksista tärkein on ennen huuliaukkoa vallitsevan kokonaispaineen säätö, koska

paine määrää huulisuihkun purkautumisnopeuden/38/. Purkautumisnopeus saadaan yksinkertaistetusta Bernoullin yhtälöstä :

$$v_j = k (2p/\rho)^{1/2} \quad (5)$$

missä	v_j	on huulisuihkun nopeus (m/s)
	p	on kokonaispaine ennen huulta (Pa)
	ρ	on sulpun tiheys (kg/m^3)
	k	on kokemusperäinen toimintapisteessä vakiona pysyvä kerroin, joka riippuu mm. sulpun nopeudesta painelähettimen kohdalla

Reikätelaperälaatikossa tarvitaan myös pinnankorkeuden säätö sekä ilmatyynyyn liittyvän ylijouksun säätö. Perälaatikon painetta säädetään Inkeröisten KK4:llä sekoituspumpun pyörimisnopeutta säätämällä. Pinnankorkeuden säätö tapahtuu ilmatyynyssä vallitsevaa painetta säätämällä. Vähentämällä ilmatyynyssä vallitsevaa painetta saadaan nesteen pinta perälaatikossa kohoamaan ja painetta nostamalla pinta laskemaan. Perälaatikon paineen, pinnankorkeuden ja ilmatilan paineen välillä vallitseva yhteys määräytyy seuraavasti/38/:

$$p = p_{ilma} + \rho gh - p_h \quad (6)$$

missä	p	on staattinen paine huulikanavassa (Pa)
	p_{ilma}	on paine ilmatyynyssä (Pa)
	h	on pinnankorkeus paineen mittauskorkeudelta laskettuna (m)
	ρ	sulpun tiheys (kg/m^3)
	g	on gravitaatiovakio $9,81 \text{ m/s}^2$
	p_h	on virtauksen painehäviö ilmatyynyn kohdalta huulelle

Tasauskammiossa olevaan sulpun pintaan kerääntyy voimakkaan pyörteilyn seurauksena haitallista vaahtoa. Vaahtoamista pyritään vähentämään pyörivillä vesisuihkuilla ja juoksuttamalla sulpun pintakerros ylijuoksukynnyksen yli. Ylijuoksun avulla saadaan myös vähennettyä kuitukasaumien muodostumisriskiä tilan alueella. Lisäksi perälaatikon pinnankorkeudensäätö saadaan käyttäytymään rauhallisemmin.

Perälaatikon ilmatyynyn ylijuoksun määrä riippuu siitä, kuinka paljon pinnankorkeus on ylijuoksukynnyksen yläpuolella, ts. pinnankorkeutta säätämällä säädetään ylijuoksun määrää/27/. Ylijuoksun loppuminen aiheuttaa perälaatikon paineen huojumista, ja samalla horjuttaa rainanmuodostuksen tasapainoa.

Jakotukin tasapainoa säädetään ohikiertoventtiilin asennolla. Yleensä jakotukkia pyritään ajamaan tasapainossa, jolloin paine jakotukin käyttö- ja hoitopuolella on sama./27/

Perälaatikon huulialueen lämpökompensoinnilla pyritään varmistamaan tasainen koneen poikkisuuntainen huuliprofiili massan lämpötilan vaihdellessa. Lämmin massa pyrkii huuliosan lämpölaajenemisesta johtuen taivuttamaan alahuulta. Tämä kompensoidaan kierrättämällä lämmitettyä vettä perälaatikon sisään suun-

nitellussa kanavistossa/27/. Sääto tapahtuu KK4:llä vesilinjas-
sa olevan sekoitusventtiilin avulla, jota ohjataan massan läm-
pötilan mukaan. Uudempi menetelmä on tehdä lämpötilan sääto
tyristoriyksiköillä, jotka ohjaavat suoraan vastuksille menevää
tehoa/27/.

10.2 Optijet

Inkeröisten kartonkitehtaan KK4:llä käytössä oleva Optijet
huulisuihkun laskentapaketti laskee lähtötietojen avulla tär-
keimmät huulisuihkun parametrit. Suihkun nopeuden laskennassa
on huomioitu perälaatikon geometriatiedot.

Huulisuihkulaskennasta saatava hyöty on melko pieni kapean
tuotantoalueen koneissa, mutta tarve kasvaa voimakkaasti laajan
tuotantoalueen koneissa, kuten em. kartonkikone. Suurella huu-
liaukolla ajettaessa voi ero konventionaalisen ja Optijet-
mittauksen välillä olla lähes 10 % suihkun nopeudesta./39/

Kun haluttu huulisuihkun nopeus tiedetään, kokonaispaineen
asetusarvo voidaan laskea Bernoullin yhtälöstä:

$$p + \frac{1}{2} \rho v_T^2 + \rho g h_T = p_s + \frac{1}{2} \rho v_s^2 + \rho g h_s \quad (7)$$

missä p on staattinen paine lähettimen kohdalla
 v_T on suihkun nopeus painelähettimen kohdalla
 h_T on korkeusero vertailutasoon nähden lähettimen
 kohdalla
 p_s on paine kuroutuneen suihkun kohdalla
 h_s on korkeusero vertailutasoon nähden kuroutu-
 neen suihkun kohdalla

Soveltamalla virtaukselle tasapainoyhtälöä:

$$v_T A_T = v_s A_s \quad (8)$$

missä A_T on huulikanavan poikkipinta-ala painelähettimen kohdalla

A_s on kuroutuneen suihkun poikkipinta-ala

Edellä oleva yhtälö voidaan kirjoittaa:

$$v_T = v_s C_c b / B \quad (9)$$

missä C_c on suihkun kuroumakerroin

b on huuliaukon korkeus

B on huulikanavan korkeus painelähettimen kohdalla

Suihkun kuroumakerroin on tyypillisesti 0,7-0,8 ja sen laskennassa käytetään hyväksi perälaatikkogeometriaa sekä kokeellisesti määritettyjä parametrejä ja yhtälöitä/40/. Sijoittamalla yhtälön (9) yhtälöön (7) saadaan staattisen huulipaineen yhtälö:

$$p = \frac{1}{2} \rho v_s \{1 - (C_c b / B)^2\} + \rho g (h_s - h_T) \quad (10)$$

Tämä yhtälö ei ota huomioon kitkan vaikutusta. Kitkan vaikutus on kuitenkin lähes merkityksetön tasaiseksi hiotussa huulikana-
vassa.

Lähtötietoina asetusarvolaskentaa varten tarvitaan huulikanavan geometriatiedot ja lähettimien asemat vertailutasoon nähden.

Lisäksi huuliaukko ja huuliero täytyy mitata. Massasulpun tarkan tiheyden määrittämiseksi on tiedettävä sulpun lämpötila ja ilmapitoisuus, mutta tiheyden määrittämisessä voidaan käyttää myös parametreja, jotka vastaavat keskimääräisiä arvoja/39/.

Näillä lähtötiedoilla kyetään laskemaan suihkun hallintaan liittyviä suureita, kuten ominaisvirtaus, iskukohta, iskukulma, suihkun suotautumis- ja liukunopeus (suotautumisnopeus on huulisuihkun nopeuden pystykomponentti ja liukunopeus vaakakomponentti, eli suihkun ja viiran todellinen nopeusero) viiralla sekä suotautumispaine rintapöydällä. Kuvassa 12 on esitetty Damatic QXD:n sivupohja, jolla huulisuihkulaskennan arvot KK4:llä esitetään jokaiselta perälaatikolta.

1.6.9.40 Runkoperä, huulisuihkulaskenta
95-04-28 16:23

Huulisuihku	m/min	Huulen asento	mm
Suihkun nopeus (SN)	000.0	Huuliaukko (HA)	000.0
Viiran nopeus (VN)	000.0	Huuliero (HE)	000.0
S-V nop. ero (NE)	0000.0		
S/V-suhte (SVS)	0.000		
Iskukulma	000.0		
Kuroumakerroin	0.00		

Suotautuminen	m/min	Esisuod. (ES)	%
Suotonopeus (SUN)	000.0	Iskuetäis.	000.0 mm
Liukunopeus (LN)	000.0	Kärjen et.	000.0 mm

Ylijouksukynnys	mm
Lask. korkeus	000
Peräpinta	000
Raakapinta	000

Massa	kg/l
Kok. paine	00.0 kPa
Kok. virt.	000.0 l/s
Om. ulosv.	000.0 l/s/-
Tiheys	0.000 kg/l

Perälaatikko RUNKO

Painelask. korj.	kPa
Konvent. ongel.	00.00
Optijet lask.	00.00

Kok. paine valinta	kPa
Käyttö	HP_00.00 kPa
	KP_00.00 kPa
Häl. raja, ero	>00.00 kPa

Kuva 12. Optijet-huulisuihkulaskennan sivupohja.

I-tunnuksista voidaan avata lisätietoja tarjoava ikkuna.

Optijet-laskennan tarkkuus riippuu hyvin pitkälti perälaatikoiden painelähettimien ja huulten asentolähettimien tarkkuudesta. Vääristä lähtöarvoista seuraa helposti suuriakin virheitä huulisuihkun laskentatietoihin.

11. TAIVEKARTONGIN HUULISUIHKUN HALLINTAPARAMETRIEN OPTIMOIMINEN TAGUCHI-MENETELMÄLLÄ

Tehdaskoeajojen koesuunnittelu tehtiin pääasiassa Taguchi-menetelmällä (Taguchi-kokeiden yhteydessä tehtiin myös prosessin tutkimista hyödyttäviä kokeita ja havaintojen keräämistä). Näin pystyttiin tutkimaan useita muuttujia pienellä koepisteiden lukumäärällä. Samalla myös haluttiin testata itse koesuunnittelumenetelmän soveltuvuutta prosessin säätöarvojen optimoinnissa.

11.1 Taguchi-koesuunnittelun perusteet

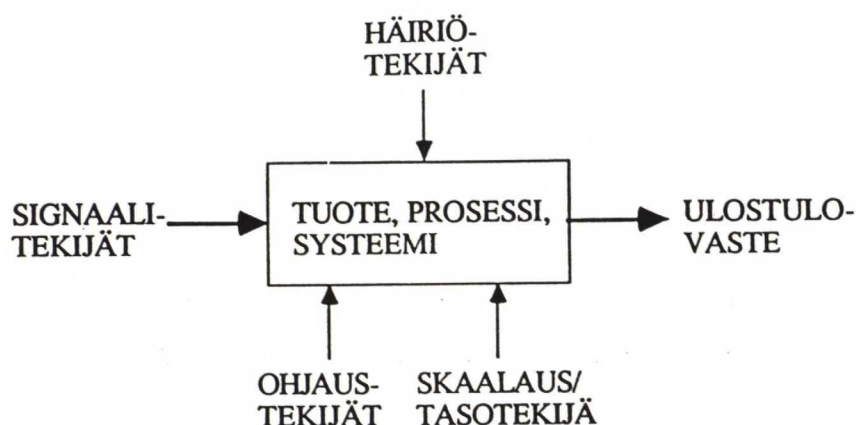
Tri Genichi Taguchin kehittämä teollisuuskokeen suunnittelu- ja analysointimenetelmä on tehokas työväline, joka yhdistää insinööritietämyksen ja tilastollisen analysoinnin. Menetelmän kehitystyö alkoi 1940-luvulla, ja sen keskeiset periaatteet on julkaistu jo 1950-luvulla. Suomessa järjestettiin ensimmäinen Taguchi-kurssi 1988./41/

Pääpaino Taguchi-menetelmässä on kokeiden tilastollisessa suunnittelussa, jossa käytetään hyväksi laadun hävikkifunktiota, ortogonaalimatriiseja, lineaarikuvaajia ja signaali-kohinasuhdetta (S/N-suhde).

Parametrisuunnittelu on kaikkein tärkein ja oleellisin osa Taguchi-menetelmää. Parametrisuunnittelun tavoitteena on mää-

rittää suunnittelijan valinnassa ja ohjauksessa olevien tekijöiden ominaisarvot niin, että saavutetaan maksimaalinen suoritusarvo, minimoidaan häiriötekijät ja tuote on valmistettavissa minimikustannuksilla.

Parametrit ovat tekijöitä, jotka aiheuttavat tai aikaansaavat toiminnon ja toimintoon liittyvän häiriön. Parametrit ovat siis osa tekijöistä, joiden on todettu vaikuttavan tutkittuun ilmiöön. Kuvassa 13 on esitetty Taguchin mukainen parametrien jako viiteen ryhmään.



Kuva 13. Parametriluokittelu Taguchin mukaan./42/

Operaattori asettaa signaalitekijän halutessaan tietyn ulostulon prosessista tai koneesta. Ohjaustekijät ovat parametrien spesifikaatioita, jotka suunnittelija voi vapaasti määrittää. Skaalaustekijät ovat erikoistapaus ohjaustekijöitä. Näillä tekijöillä voidaan säätää haluttu yhteys signaalitekijän ja ulostulon välille. Kohina kuuluu häiriötekijöihin, joita suunnittelija ei voi ohjata. Laatuominaisuuksien eli ulostulovasteen hallitsemiseksi on tunnettava parametrien häiriötekijöiden yksittäis- ja keskinäisvaikutukset./41/

Taguchi-koesuunnittelussa käytettävät ortogonaalimatriisit tarjoavat hyvän ratkaisumahdollisuuden ongelmiin, joita ovat koevirhe, syy-seuraussuhteiden sekoittuminen sekä ilmiön monimutkaisuus. Lisäksi ortogonaalimatriiseilla on teollisuuskokeelta vaadittavia ominaisuuksia, kuten kyky käsitellä suuri määrä muuttujia suhteellisen harvoilla testeillä, ja kyky olla siten tasapainossa, että yksittäisen tekijän vaikutus voidaan ennustaa vaihtelevissa ajotilanteissa. Lisäksi ortogonaalimatriisikokeet ovat helposti toistettavissa./41/

Taguchi-kokeeseen kuuluu myös varmistuskoe, jonka avulla todetaan, saavutettiin kokeen ennustama lopputulos myös käytännössä.

11.2 Koesuunnitelma

Tavoitteena oli tehdä koesuunnitelma, jolla voitaisiin tutkia monipuolisesti perälaatikoiden hallintaparametrien vaikutusta taivekartongin laatuun. Lisäksi mitattujen ominaisuuksien keskinäisillä korrelaatioilla pyrittiin selvittämään, mitkä paperin tilasuureet ovat sopivia ennustamaan lopputuotteen hyviä käyttöominaisuuksia, kuten hyvää painojälkeä.

Koesuunnitelma rajattiin pelkästään kartongin pinta- ja runko-kerroksen perälaatikoihin, koska ohuen taustakerroksen vaikutus on pieni, ja prosessin muita vaikutuksia on kartoitettu aikaisemmin. Koeajojen ajaksi prosessin muut osat pyrittiin mahdollisuuksien mukaan optimoimaan ja/tai hallintasuureet vakioimaan.

Koeajoissa käytettiin taulukossa 1 esitetyn kaltaisia L_8 -ortogonaalimatriiseja. Tutkittavia hallintasuureita saatiin tällöin mukaan 7, ja suureita voitiin tutkia kahdella tasolla.

Kahteen tasoon päädyttiin siitä syystä, että useampi taso olisi kasvattanut koepisteiden määrää huomattavasti, ja koeajon suorittaminen yhtäjaksoisesti olisi ollut mahdotonta. L_8 -ortogonaalimatriisin Taguchi-kokeessa on 8 koepistettä, joiden sisällä voidaan tehdä tarpeellinen määrä rinnakkaismäärittelyksiä riittävän tarkkuuden saavuttamiseksi.

Taulukko 1. Koeajoissa käytetty L_8 -ortogonaalimatriisi/42/.

KOENUMERO	TEKIJÄ							KOETULOS
	A	B	C	D	E	F	G	
1	1	1	1	1	1	1	1	Y1
2	1	1	1	2	2	2	2	Y2
3	1	2	2	1	1	2	2	Y3
4	1	2	2	2	2	1	1	Y4
5	2	1	2	1	2	1	2	Y5
6	2	1	2	2	1	2	1	Y6
7	2	2	1	1	2	2	1	Y7
8	2	2	1	2	1	1	2	Y8

Tasojen määräämisessä perussääntö on se, että tasojen on oltava vähintään kolmikertaisia prosessin perushajontaan δ verrattuna. Hallintasuureiden tasot valittiin siten mahdollisimman paljon toisistaan poikkeaviksi, kuitenkin niin, että muutokset olivat mahdollisia tuotannon yhteydessä, ja koneen ajettavuus säilyi. Eri koeajojen hallintasuuretasot määriteltiin kartonkikoneella tehdyissä esikokeissa. Koeajojen koepisteissä toteutuneet hallintasuuretasot on esitetty liitteessä 2.

12. TEHDASKOEAJOJEN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

Huulisuihkujen optimointi riippuu osittain ajettavan kartongin neliömassasta ja koneen nopeudesta. Laajasta tuotevalikoimasta johtuen päädyttiin KK4:n huulisuihkujen optimointi tekemään

kolmella neliömassalla. Näin ollen tarvittiin kolme Taguchi-koeajoa.

Ennen jokaista koeajoa pyrittiin saamaan kaikki kartonkikoneen hallintamuuttujat, joita ei tutkittu, sellaiseen tilaan, että koeajo voitiin niiden osalta suorittaa mahdollisimman tasaisissa olosuhteissa. Vakioitavia muuttujia olivat mm. massojen anostelusuhteet, jauhatukset, viiraosan imut ja päällystemäärät. Vakioinnit suoritettiin ennen koeajoa, minkä jälkeen prosessin annettiin tasaantua vähintään tunti ennen ensimmäistä koepistettä.

Näytteenotto koeajoissa tehtiin rullaimella, ottamalla konerullan pinnasta poikkiratanäytteitä. Ensimmäisessä koeajossa (TB 280) ajettiin ainoastaan yksi konerulla kutakin koepistettä, mutta kahdessa viimeisessä koeajossa (TB 230 ja TB 325) kaksi konerullaa. Kahden konerullan ajamisella saatiin kaksi rinnakkaismääritystä kaikista koepisteistä, ja näin ollen prosessin sisäinen huojunta ja häiriötekijät saatiin paremmin esiin. Muutokset suoritettiin aina välittömästi koepisteen valmistuttua, jolloin prosessi ehti tasaantua vähintään 20 minuuttia ennen näytteenottoa.

Koeajojen näytteistä suoritettut mittaukset ja analyysit on kerrottu liitteessä 1.

12.1 Esikokeet

Ennen varsinaisia koeajoja tehtiin tutkimukseen liittyviä esikokeita. Esikokeissa varmistettiin suihkun ja viiran nopeuseron paikkansapitävyys ajamalla kaikki perälaatikot aliperältä yliperälle. Perälaatikoiden suihkusuhhteita nostettiin kerralla 0,01:llä, minkä jälkeen mitattiin radan leveys popella. Rata on

leveimmillään tasaperällä, joten mittauksen perusteella saatiin varmistettua suihkun ja viiran nopeuseron, sekä samalla perälaatikon painemittauksen paikkansapitävyys.

Tärkein vaihe esikokeissa oli Taguchi-koeajojen hallintasuureiden tasoeron määrittäminen. Tämä tapahtui käytännössä niin, että tutkittava muuttuja kerrallaan etsittiin hallintasuureille ylä- ja alaraja siten, että koneen ajettavuus säilyi.

12.2 Koeajo 230 g/m² kartongilla

Keveimmäksi koeajokartongiksi valittiin 230 g/m² painava kartonki, jolla katkoriski oli pienempi kuin aivan skaalan alapäässä olevilla kartongeilla. Koeajo oli järjestyksessään toinen Taguchi-koeajoista, ja suoritettiin 18.12.1995. Koeajon koematriisi on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Taguchi-koeajomatriisi TB 230 -koeajossa.

	Runkokerroksen ri- tapöydän etäisyys perälaatikosta	Pinta- kerroksen esisuodatus	Runkoperä- laatikon sakeus	Runkokerrokse suihku-viira nopeusero	Pintakerrokse suihku-viira nopeusero	Runko- kerroksen esisuodatus	Pintaperä- laatikon sakeus
Koepiste 1	110 mm	5 %	laimea	5 m/min	0 m/min	5 %	laimea
Koepiste 2	110 mm	5 %	laimea	18 m/min	10 m/min	30 %	sakea
Koepiste 3	110 mm	5 %	sakea	5 m/min	0 m/min	30 %	sakea
Koepiste 4	110 mm	5 %	sakea	18 m/min	10 m/min	5 %	laimea
Koepiste 5	160 mm	70 %	sakea	5 m/min	10 m/min	5 %	sakea
Koepiste 6	160 mm	70 %	sakea	18 m/min	0 m/min	30 %	laimea
Koepiste 7	160 mm	70 %	laimea	5 m/min	10 m/min	30 %	laimea
Koepiste 8	160 mm	70 %	laimea	18 m/min	0 m/min	5 %	sakea

Koeajon kulkua häiritsi hieman kahden ensimmäisen koepisteen aikana kartongin runkokerroksen kuraaminen koneen etulaidassa. Kuraamisen loppumiseksi jouduttiin viiraosalla muuttamaan koneen ulkopuolisia hallintaparametreja. Näillä muutoksilla voi olla pieni vaikutus kokeen tuloksiin. Toinen koeajoa häirinyt

tekijä oli päällysteen ulkonäön trendinomainen huononeminen kokeen loppua kohti mentäessä. Tällöin päällyste muuttui "avonaiseksi", mikä heikensi ainakin kartongin sileyttä. Koejärjestelystä johtuen tämä päällysteen heikentyminen näkyi ainakin osittain aiheettomasti rintapöydän aiheuttamana.

Eräissä mittauksissa erot rinnakkaismäärityksissä kertovat prosessin suuresta sisäisestä huojuunnasta. Tämä huojuunta kasvatti eräiden laatuarvojen Taguchi-analysointien virhetekijöitä. Positiivista oli, että tämän koeajon aikana ei ollut yhtään katkoa, kuten ei muidenkaan Taguchi-koeajojen aikana. Lisäksi muutokset koepisteiden välillä saatiin suoritettua kaikissa koeajoissa onnistuneesti, joten itse koeajotapahtuma saatiin vietyä läpi alle kymmenessä tunnissa.

Kevyellä (TB 230) ja raskaalla (TB 325) kartongilla oli koeajon aikana käytössä myös NDC-mittari, jolla voitiin mitata massan sakeutta viiran päällä. Mitta-anturi oli runkokerroksen viiraosalla ennen formeriviiraa. Tällä mittauksella oli tarkoitus tutkia yläviiraosan sisäänmenosakeuden vaikutusta kartongin laatuun. Tulokset on esitetty liitteessä 3. Formerin sisäänmenosakeuden vaikutus ei varsinaisesti selvinnyt, koska koeajoissa oli vakioidut tyhjötasot, jolloin sakeus viiralla seurasi hyvin tarkasti runkokerroksen perälaatikkosakeuden muutosta. On kuitenkin ilmeistä, että viiraosan sakeusmittauksella voitaisiin parantaa kartongin formaation sekä muiden rainaussakeudesta riippuvien tilasuureiden hallintaa.

12.3 Koeajo 280 g/m² kartongilla

Diplomityön ensimmäisenä laajana koeajona suoritettiin 2.11.1995 koeajo 280 g/m² painoisella kartongilla. Lähtökohdaksi otettiin se, että koeajo suoritetaan yhtäjaksoisesti. Ajo-

ryhmien pienen koon, ja Taguchi-menetelmän aikaisemman käyttökokemuksen puuttumisen takia päätettiin koeajo suorittaa ilman rinnakkaismäärittelyksiä koepisteissä. Tämän koeajon koepisteet on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Taguchi-koeajomatriisi TB 280 -koeajossa.

	Runkokerroksen ri- tapöydän etäisyys perälaatikosta	Pinta- kerroksen esisuodatus	Runkoperä- laatikon sakeus	Runkokerrokse suihku-viira nopeusero	Pintakerrokse suihku-viira nopeusero	Runko- kerroksen esisuodatus	Pintaperä- laatikon sakeus
Koepiste 1	110 mm	5 %	laimea	5 m/min	0 m/min	5 %	laimea
Koepiste 2	110 mm	5 %	laimea	15 m/min	10 m/min	25 %	sakea
Koepiste 3	110 mm	5 %	sakea	5 m/min	0 m/min	25 %	sakea
Koepiste 4	110 mm	5 %	sakea	15 m/min	10 m/min	5 %	laimea
Koepiste 5	160 mm	70 %	sakea	5 m/min	10 m/min	5 %	sakea
Koepiste 6	160 mm	70 %	sakea	15 m/min	0 m/min	25 %	laimea
Koepiste 7	160 mm	70 %	laimea	5 m/min	10 m/min	25 %	laimea
Koepiste 8	160 mm	70 %	laimea	15 m/min	0 m/min	5 %	sakea

12.4 Koeajo 325 g/m² kartongilla

Viimeisenä Taguchi-koeajona suoritettiin 18.1.1996 koeajo ras-
kaalla kartongilla, jollaista jo 325 g/m² painava Tambrite
edustaa. Kartongin ajo-ominaisuudet muuttuvat noin 300 g/m²
kohdalla, josta painavampiin lajeihin mentäessä massapinnan vä-
rähately viiraosalla vähenee oleellisesti. Tällöin hyvän formaa-
tion saavuttaminen saattaa tuottaa vaikeuksia, ja koneen viira-
osan ajotapa on jonkin verran toisenlainen kuin kevyillä la-
jeilla. Tämän koeajon koepisteet on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Taguchi-koeajomatriisi TB 325 -koeajossa.

	Runkokerroksen ri- tapöydän etäisyys perälaatikosta	Pinta- kerroksen esisuodatus	Runkoperä- laatikon sakeus	Runkokerrokse suihku-viira nopeusero	Pintakerrokse suihku-viira nopeusero	Runko- kerroksen esisuodatus	Pintaperä- laatikon sakeus
Koepiste 1	100 mm	8 %	laimea	5 m/min	0 m/min	5 %	laimea
Koepiste 2	100 mm	8 %	laimea	15 m/min	10 m/min	30 %	sakea
Koepiste 3	100 mm	8 %	sakea	5 m/min	0 m/min	30 %	sakea
Koepiste 4	100 mm	8 %	sakea	15 m/min	10 m/min	5 %	laimea
Koepiste 5	155 mm	70 %	sakea	5 m/min	10 m/min	5 %	sakea
Koepiste 6	155 mm	70 %	sakea	15 m/min	0 m/min	30 %	laimea
Koepiste 7	155 mm	70 %	laimea	5 m/min	10 m/min	30 %	laimea
Koepiste 8	155 mm	70 %	laimea	15 m/min	0 m/min	5 %	sakea

12.5 Taguchi-kokeiden lisäksi tehtyjä tutkimuksia

12.5.1 Rullausvauriotutkimus

Muista Taguchi-kokeista TB 280 -koeajo poikkesi siinä, että tässä koeajossa tutkittiin myös kartongin rullausvaurioiden syntyä. Tämä tutkimus perustui siihen, että Inkeröisten kartonkitekhtaalla on ollut ongelmana kartongin laadun heikkeneminen rullausvaiheessa ja jälkikäsitteilyssä. Kartonki rullataan melko kuumana (n. 70 °C), jolloin se naarmuuntuu ja samalla siihen tulee monttuja sekä epätasaista kiillottumaa rullauksessa. Rullausvaurioita tutkittiin ottamalla koepisteistä 1, 2 ja 8 ylimääräiset näytteet n. 15 cm konerullan pohjasta pintaan päin pituusleikkurin aukirullauksessa. Kokemuksen mukaan varsinkin konerullan pohja on herkkä vaurioille.

12.5.2 Perälaatikoiden nopeuserosäätötapa

Viiran ja huulisuihkun välinen nopeusero on merkittävä lopputuotteen laatuun vaikuttava hallintasuure. Perinteisesti perälaatikoita on ajettu huulisuihkun ja viiran nopeuden suhteen avulla. Vaikuttava mekanismi suihkun ja viiran kohdatessa on

kuitenkin nopeusero, joka olisi mielekkäämpi hallintasuureena-kin.

Käytännössä stabiilissa ajotilanteessa ei ole eroa kumpi säätötapa on käytössä. Koneen nopeuden muuttuessa suihkusuhtesäädöksenä suihkun ja viiran nopeusero voi jopa kaksinkertaistua, millä on varmasti vaikutusta rainanmuodostukseen. Jos säätötapana on suihkun ja viiran nopeusero, on säätötarve huomattavasti vähäisempää, koska nopeusero pysyy vakiona koneen nopeuden muutoksista riippumatta.

Suihkun ja viiran nopeuserosäädön mielekkyyttä päätettiin selvittää siirtymällä tähän säätötapaan, ja seuraamalla vaikutuksia pitkällä ajanjaksolla tuotannon yhteydessä.

12.5.3 Reuna-aaltotarkastelu

Taguchi-koeajojen yhteydessä tarkkailtiin reuna-aaltojen suuruutta ja vaikutusta poikkiprofiileihin. Profiilitarkasteluun käytettiin poikkisuuntaisen neliömassan 28 hajontaa.

13. SUORITETUT MITTAUKSET JA TULOSTEN ANALYSOINTI ERI KOE-AJOISSA

Seuraavassa on esitetty koeajojen tulokset. Mittauksia varten poikkiratanäytteestä leikattiin viisi arkkia tasaisin välein. Useimmissa mittauksissa jokaisesta poikkiratanäytteen viidestä arkista tehtiin neljä rinnakkaismäärittystä. Näin voitiin seurata poikkisuuntaisen ominaisuuksien hajonnan kehittymistä. Taguchi-analysointiin käytettiin koko poikkiradan mittausten keskiarvoa. Liitteessä 3 on esitetty koepisteiden keskimääräiset mittaustulokset 95 %:n luottamusvälein eri koeajojen koe-

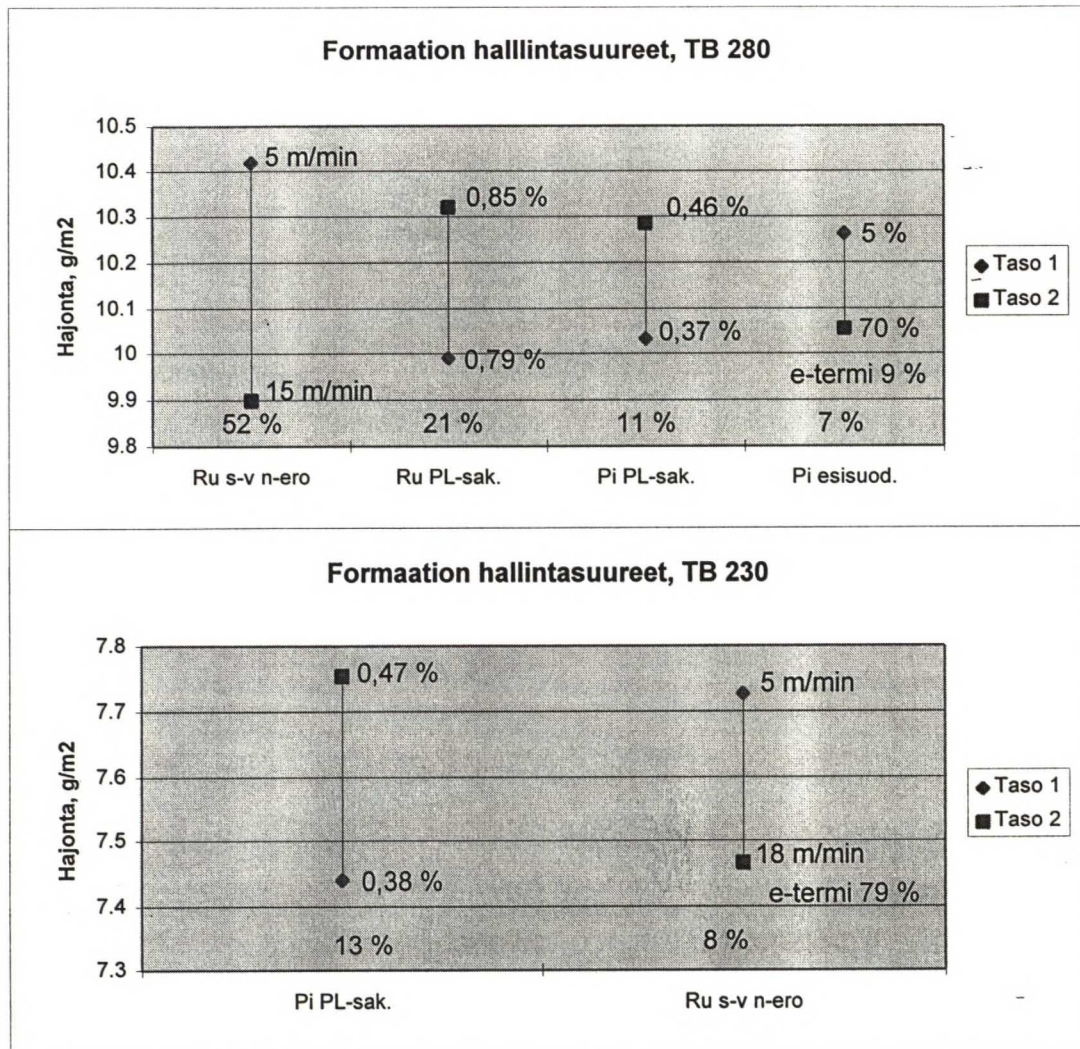
pisteissä. Seuraavassa on tarkasteltu hallintasuureiden vaikutusta kartongin tilasuureisiin koeajojen pohjalta.

13.1 Formaatio

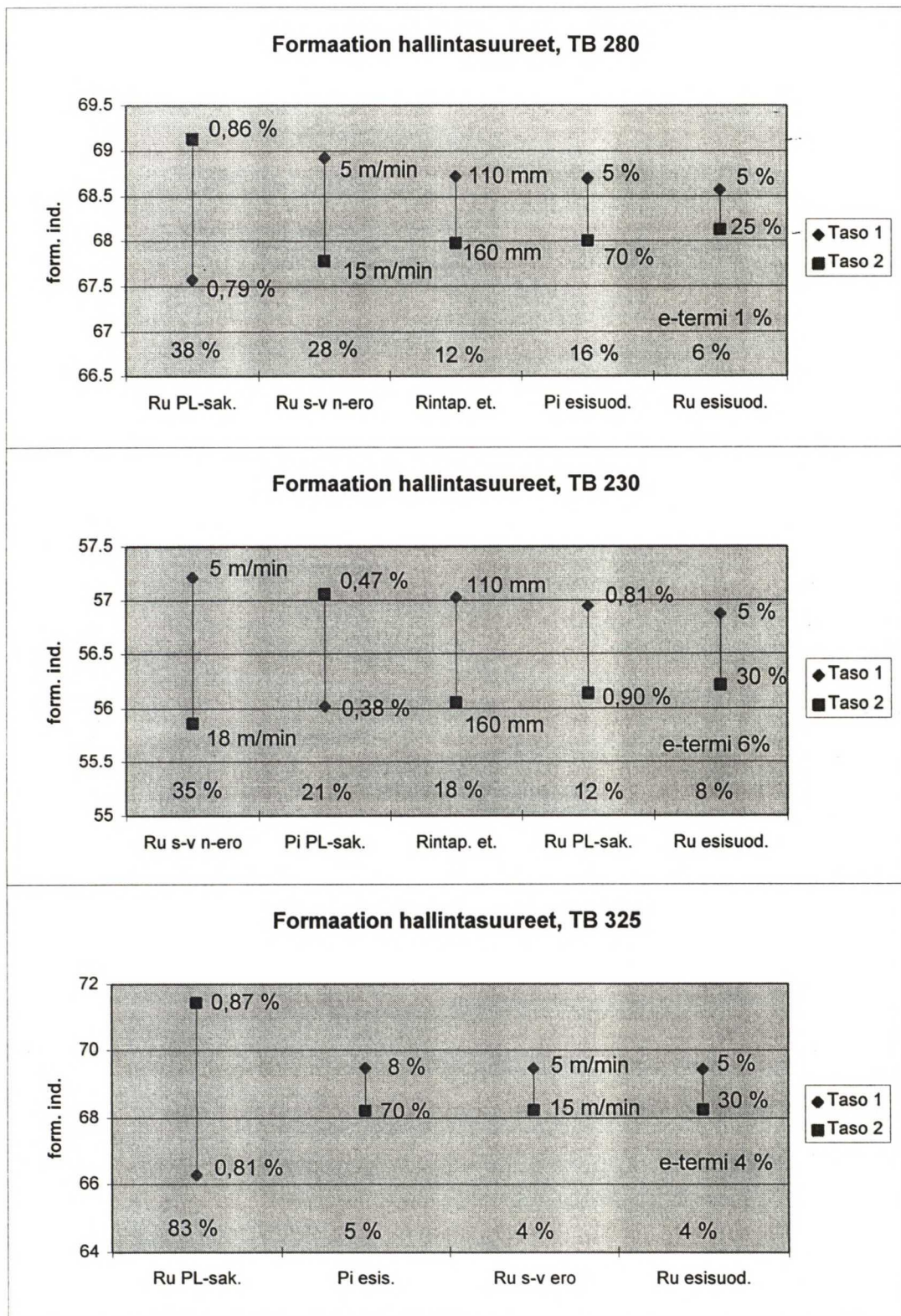
Formaatiota mitattiin laboratoriossa Ambertec-formaatiomittarilla. Mittausmenetelmä on kerrottu liitteessä 1. Tämän lisäksi seurattiin valonläpäisyyden perustuvaa koneen on line -formaatiomittaria.

Betasäteilyyn perustuva Ambertec-formaatiomittari toimii valmistajan mukaan aina 300 g/m^2 asti. Koska muitakaan luotettavia mittausmenetelmiä näin painavalle kartongille ei ollut käytettävissä, luotettiin viimeisessä koeajossa pelkästään koneen on line -mittariin. On line -formaatiomittari antaa kuvan muutoksen suunnasta, ja koska koeajot tapahtuivat yhtäjaksoisesti vakioituilla massakoostumuksilla, voidaan sitä pitää mielekkäänä kartongin rainanmuodostuksen indikaattorina. On line -mittausta puolusti vielä se seikka, että koneen formaatiomittari sijaitsee puristinosan jälkeen, kun taas laboratoriomittauksessa kartongin päällyste vaimentaa neliömassahajontaa.

Tutkittujen hallintasuureiden vaikutuksia formaatioon on esitetty kuvissa 14 ja 15. Kuten kuvasta 14 havaitaan on TB 230 -koeajon betaformaation virhetermi (e-termi) suuri. Tämä kertoo prosessin satunnaisen vaihtelun olleen suuri verrattuna tutkituilla hallintasuureilla aikaansaatuun muutokseen. Satunnainen vaihtelu on tullut ilmeisesti päällystyksestä, koska on line -formaatiossa virhetermi on pieni.



Kuva 14. Formaation hallintasuureet TB 280 ja TB 230 -kartongeilla (Ambertec-mittaus). Suuren virhetermin takia TB 230 -koeajo ei yksinään tarkasteltuna ole luotettava.



Kuva 15. Formaation hallintasuureet TB 280, TB 230 ja TB 325 -kartongeilla (on line -mittaus).

Analyysit, joiden virhetermi on suuri, eivät yksinään ole luotettavia. Tässä tapauksessa myös hajontaa sisältävien koeajojen tulokset on esitetty, koska koeajojen välillä on tiettyä synergiaa. Myös pienen luotettavuuden omaavat koeajot voivat vahvistaa muiden kokeiden tuloksia. Lisäksi koeajojen luotettavuutta tarkasteltaessa on syytä muistaa, että ensimmäisessä (TB 280) koeajossa on kahteen muuhun koeajoon verrattuna pienet virhetermit. Ensimmäisen koeajon pienet virhetermit johtuvat siitä, että rinnakkaismäärittäyksiä ei tehty, ja siten prosessin sisäinen hajonta ei näkynyt tuloksissa.

Formaatiomittausten perusteella näyttää siltä, että formaatioon voidaan vaikuttaa kevyillä ja raskailla lajeilla hieman eri mekanismeilla. Kevyillä lajeilla formaation parantaminen tapahtuu parhaiten pintakerroksen perälaatikkosakeutta alentamalla sekä runkokerroksen suihkun ja viiran nopeuseroa (s-v ero) kasvattamalla. Runkokerroksen perälaatikkosakeudella ei näytä olevan ratkaisevaa merkitystä.

Keskiraskailla lajeilla alkaa runkokerroksen perälaatikkosakeus nousta merkittäväksi formaation hallintasuureeksi. Laimealla runkoperällä saadaan parempi formaatio kuin sakealla. Keskiraskailla kartongeilla ovat runkokerroksen s-v ero ja pintakerroksen perälaatikkosakeus yhä merkittäviä vaikuttajia formaatioon.

Kun siirrytään raskaisiin lajeihin, kasvaa runkokerroksen osuus kokonaisuudesta erittäin ratkaisevaksi. Tällöin tärkein formaation hallintasuure on runkokerroksen perälaatikkosakeus, jonka tulee olla mahdollisimman alhainen hyvän formaation saavuttamiseksi.

Koska rainanmuodostusalueen turbulენტtisuudella voidaan vaikuttaa flokkien kokoon ja muotoon, on suurella esisuodatuksella edullinen vaikutus formaatioon. Esisuodatuksen vaikutus formaatioon.

tioon on kuitenkin pieni verrattuna muihin hallintasuureisiin, minkä takia esisuodatuksen suuruutta optimoitaessa on syytä ottaa huomioon pienen esisuodatuksen edut esimerkiksi kartongin poikkisuuntaista jäykkyyttä ajatellen.

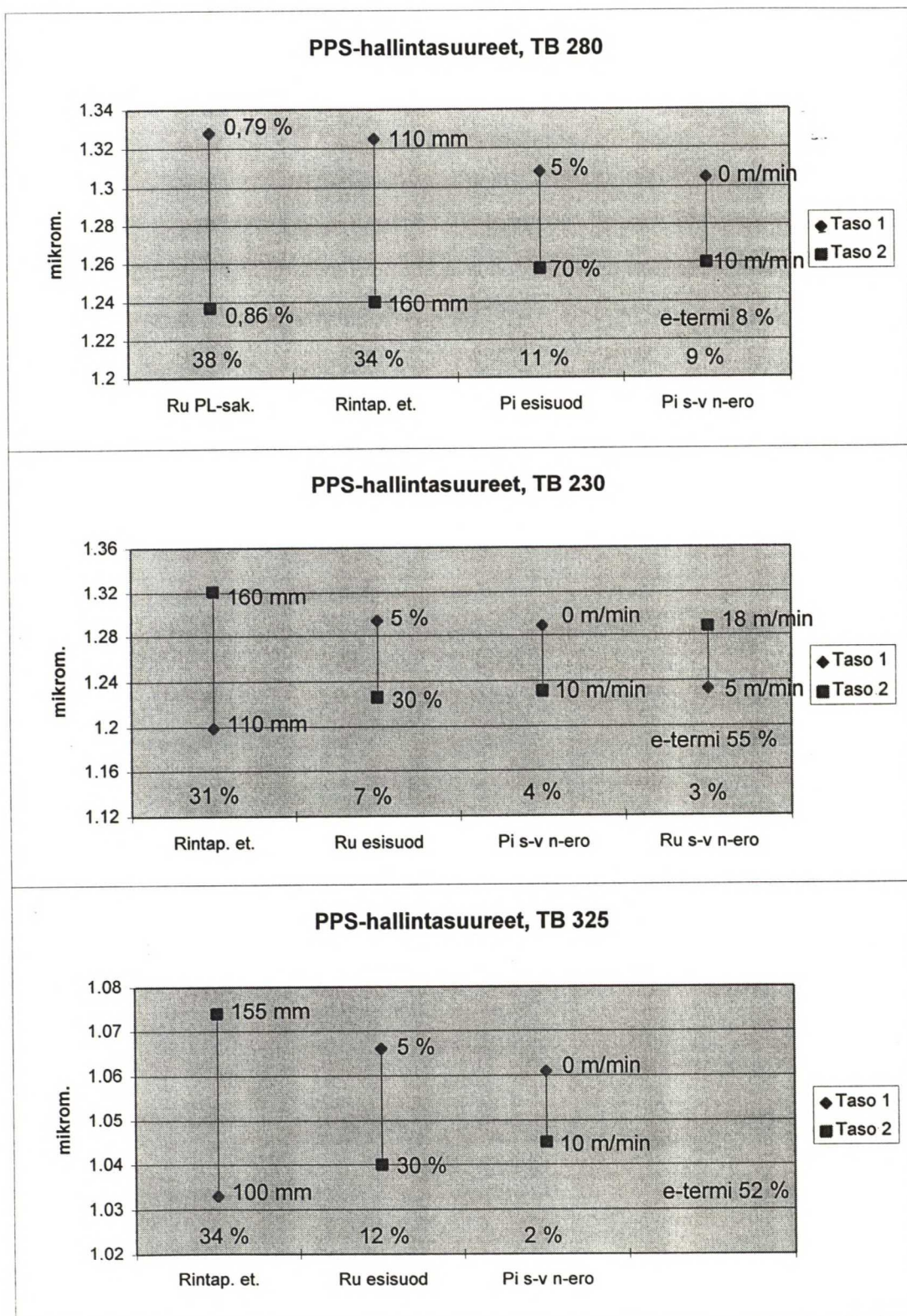
13.2 Sileys

Kartongin sileyteen vaikuttavat pohjakartongin sileyden lisäksi monet muutkin seikat, kuten kalanterointi ja päällystys. Täten on mahdollista, että viiraosan vaikutukset hämärtyvät valmiin kartongin sileyttä mitattaessa. Koska pohjakartongin sileys on avainasemassa lopputuotteenkin sileyteen, ja ainoa mahdollinen näytteenottopaikka KK4:llä on rullain, on huulisuihkujen vaikutuksia sileyteen analysoitu.

Kaikissa koeajoissa mitattiin pintapuolelta PPS₁₀- ja Bendtsen-sileydet liitteessä 1 kuvatulla menetelmällä ja standardin SCAN-P 21:67 mukaan. Taustapuolelta yritettiin mitata ensimmäisessä koeajossa Bendtsen-sileyttä, mutta Bendtsen-mittaus ei ollut mielekäs karhealta taustapuolelta. Kahdessa viimeisessä koeajossa mitattiin taustapuolelta PPS₁₀.

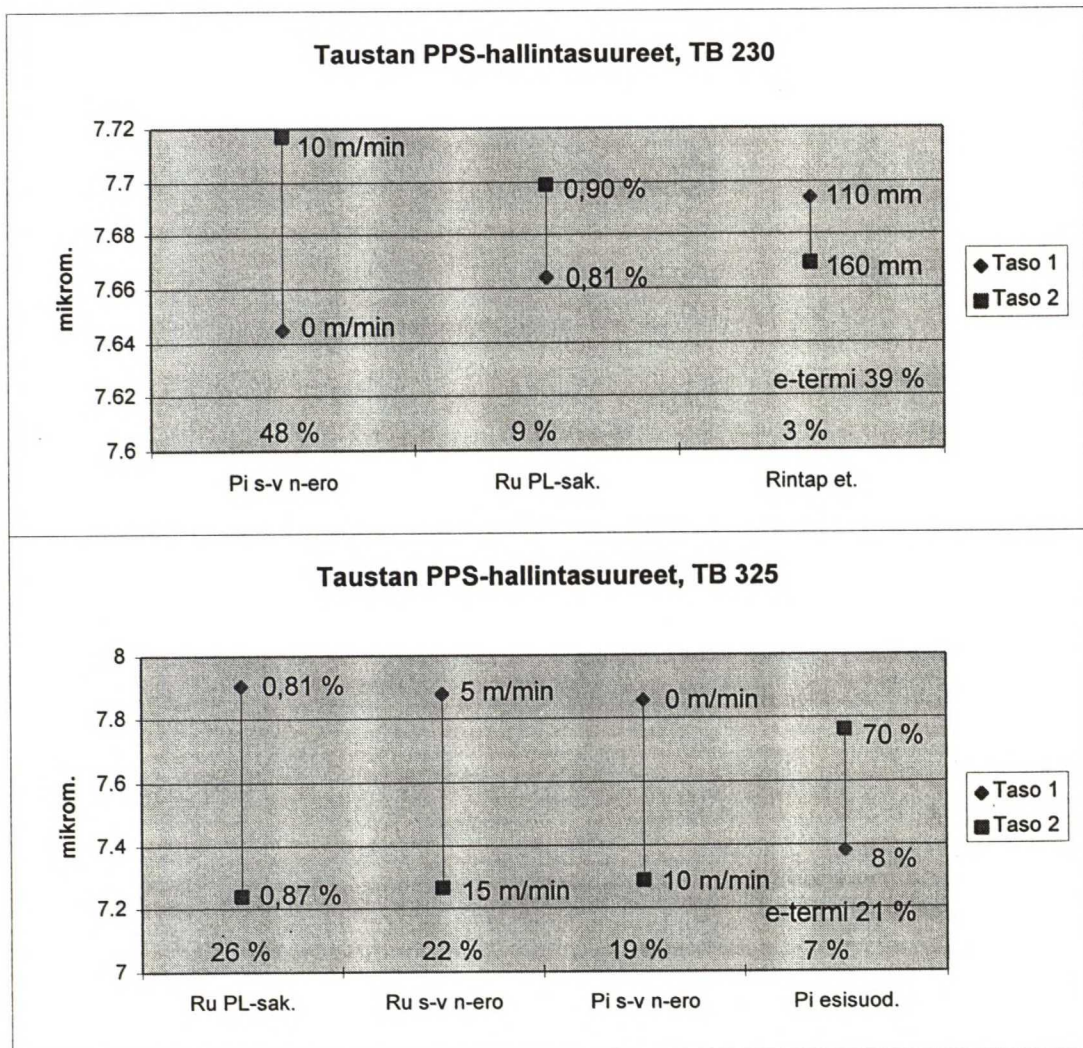
13.2.1 PPS₁₀-sileys

Kuvassa 16 on esitetty pintapuolen PPS₁₀-sileyteen vaikuttaneet hallintasuureet ja kuvassa 17 taustapuolen PPS₁₀-sileyden hallintasuureet. Muiden kuin tutkittujen hallintasuureiden vaikutuksesta ja prosessin sisäisestä vaihtelusta kertovat suurehkot virhetermit koeajoissa, joissa on tehty kaksi rinnakkaismäärittystä koepisteessä.



Kuva 16. Kartongin PPS₁₀-sileyden hallintasuureet TB 280, TB 230 ja TB 325 -koeajoissa. TB 230 -lajilla suuri e-termi vähentää luotettavuutta

TB 230 ja TB 325 -koeajojen perusteella näyttää siltä, että suurella iskukulmalla ts. rintapöytä lähellä perälaatikkaa runkokerroksessa saavutetaan parempi sileyys. TB 280 -koeajossa rintapöydän vaikutus oli toisensuuntainen, mutta Bendtsen-sileyden määritykset antavat tukea suuren iskukulman edullisuudesta sileyteen.



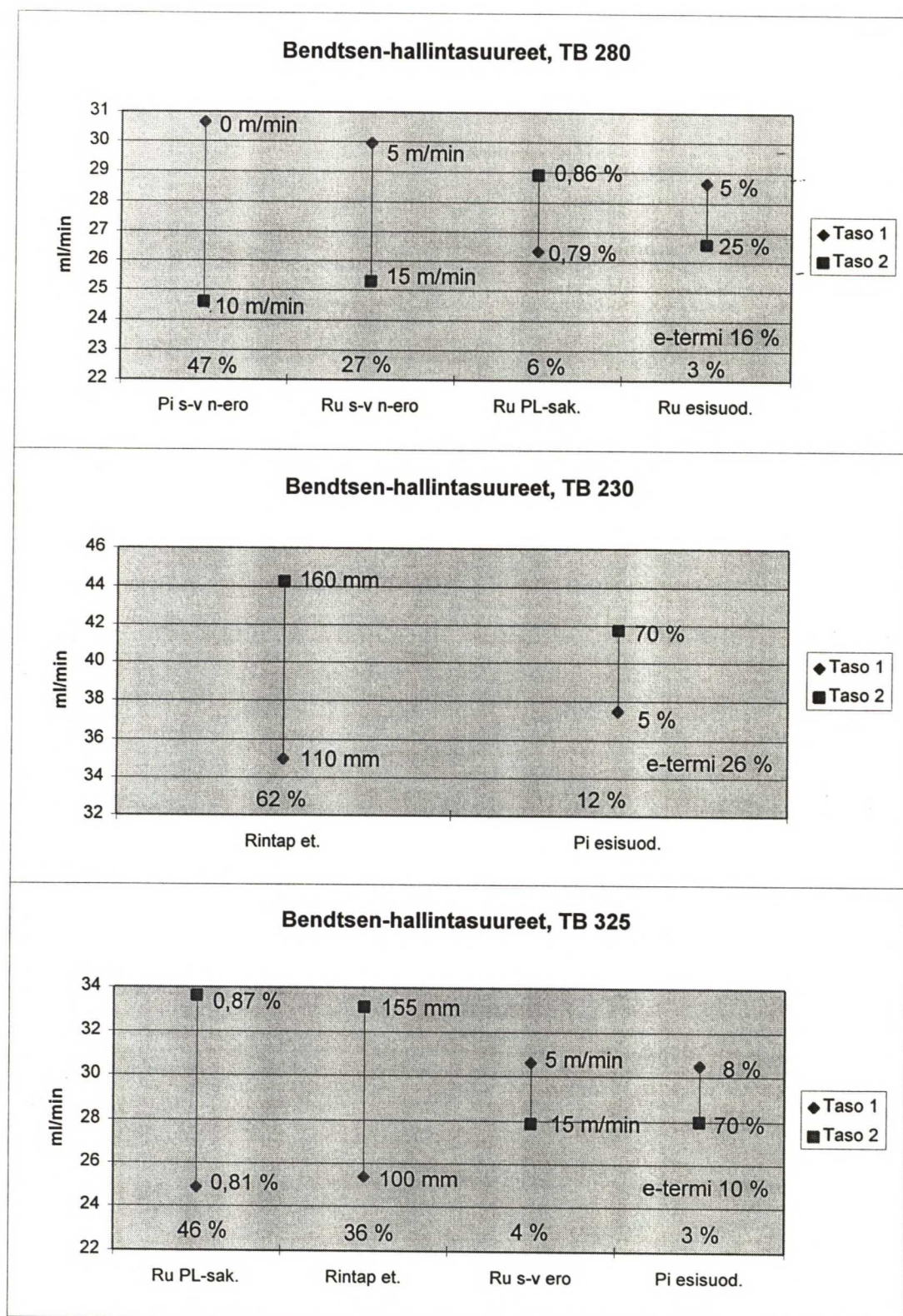
Kuva 17. Taustan PPS-sileyden hallintasuureet TB 230 ja TB 325 -koeajoissa.

Suuret esisuodatuksella pinta- ja runkokerroksilla parantavat sileyttä. Myös pintakerroksen s-v erolla näyttäisi olevan positiivinen vaikutus pintapuolen PPS₁₀-sileyteen, mutta pinnan s-v eron kasvattaminen vaikuttaa kielteisesti varsinkin poikkisuuntaiseen jäykkyyteen.

Kartongin taustan PPS₁₀-sileydelle ei löydetty kahdessa koeajossa samoja vaikutuksia. Ilmeisesti tutkituilla hallintasuureilla ei ole merkittävää vaikutusta taustapuolen sileyteen.

13.2.2 Bendtsen-sileys

Bendtsen-sileyden virhetermit ovat huomattavasti PPS:n vastavia pienempiä, mutta toisessa koeajossa kartongin päällysteen tasainen huononeminen koeajon loppua kohti vaikutti myös Bendtsen-tuloksiin. Koejärjestelystä johtuen osa päällysteen avonaisuudesta aiheutunutta sileyden huononemista tulee tuloksissa rintapöydän etäisyyden vaikutukseksi. Bendtsen-sileyden hallintasuureet on esitetty kuvassa 18.



Kuva 18. Bendtsen-sileyden hallintasuureet TB 280, TB 230 ja TB 325 -koeajoissa.

Mittauksen perusteella vaikuttaa siltä, että suuri iskukulma rungolla parantaa myös Bendtsen sileyttä. TB 325 -koeajossa erittäin suureksi Bendtseniin vaikuttavaksi tekijäksi nousi runkokerroksen perälaatikkosakeus. Laimealla runkoperällä saatiin huomattavasti sakeaa paremmat Bendtsen-sileydet. Tämä seikka on ollut myös kokemusperäisesti tiedossa, sillä raskaila kartongeilla runkokerroksen formaation huononeminen aiheuttaa viistovalossa silminnähtävää kartongin kuhmuraisuutta.

Runkokerroksen suuri s-v ero näyttäisi parantavan sileyttä keskiraskailla ja raskailla lajeilla.

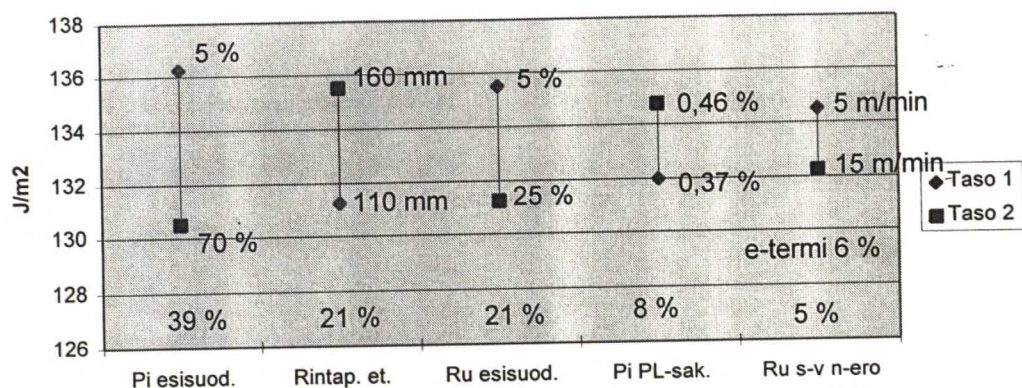
13.3 Kartongin palstautuminen

Kartongin palstautuminen riippuu kartongin z-suuntaisesta lujuudesta. Scott Bond -testissä kartonki halkeaa runkokerroksen sisältä, joten sillä mitataan runkokerroksen sisäistä palstautumislujuutta. Irrotuslukumäärityksessä puolestaan määritetään kartongin kerrosten välistä palstautumislujuutta. Scott Bond -mittaus on tehty standardin TAPPI UM 403 mukaan ja irrotusluvun mittausmenetelmä on selostettu liitteessä 1.

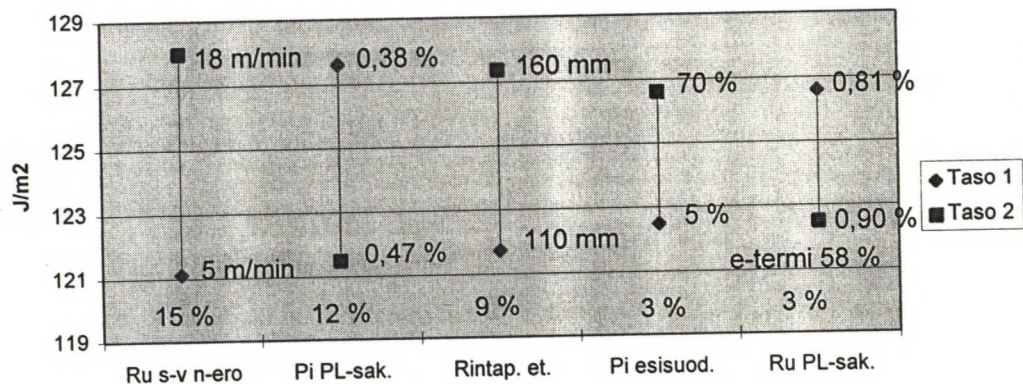
13.3.1 Scott Bond

Scott Bond palstautumislajuuden hallintasuureet on esitetty kuvassa 19. TB 230 -koeajossa virhetermi oli suuri, joten tämän koeajon tuloksilla ei ole yhtä suurta painoarvoa kuin muiden ajojen tuloksilla.

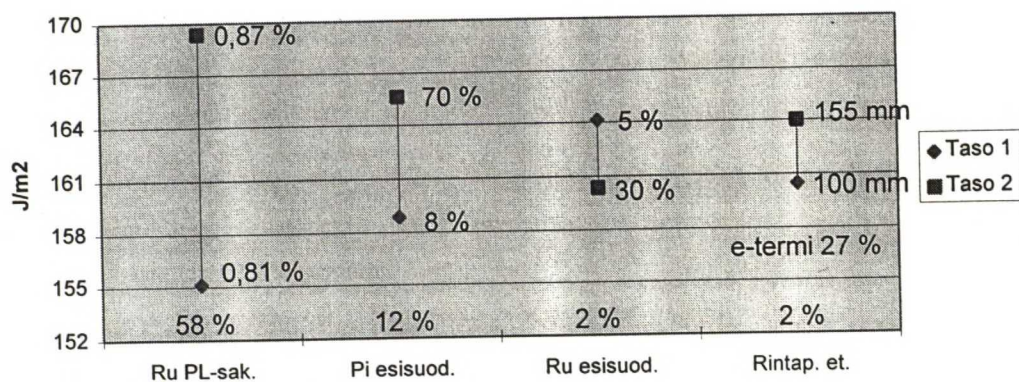
Scott Bondin hallintasuureet, TB 280



Scott Bondin hallintasuureet, TB 230



Scott Bondin hallintasuureet, TB 325



Kuva 19. Scott Bond -palstautumislukuuden hallintasuureet TB 280, TB 230 ja TB 325 -koeajoissa. Suuren virhetermin takia TB 230 -koeajo ei ole yksinään luotettava.

Varsinkin raskaalla kartongilla tulee erittäin selvästi ilmi runkokerroksen perälaatikkosakeuden vaikutus palstautumiseen. Havainnot ovat samansuuntaisia kuin kirjallisuudessa/4/, eli runkokerroksen perälaatikon sakeuttaminen saa aikaan huopautuneemman rainan kuin laimea perälaatikkomassa, mikä lisää z-suuntaista lujuutta. Samoin formaatio huononi perälaatikkomassaa sakeutettaessa, jolloin rainaan muodostui palstautumislujutta lisääviä flokkeja. On kuitenkin huomattava, että palstautumislujuus oli raskaalla lajilla yli tavoitearvon laimealakin rungon perälaatikkosakeudella.

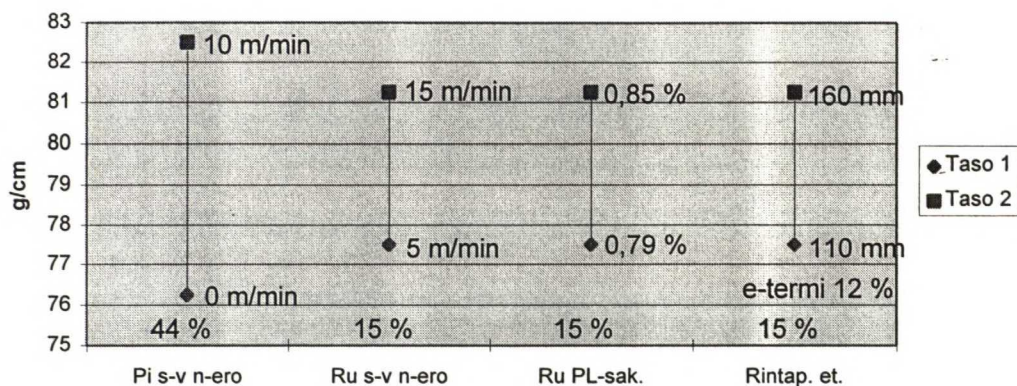
Kaikissa koeajoissa pienellä runkokerroksen iskukulmalla saatiin suurta iskukulmaa parempi palstautumislujuus. Saattaa myös olla, että runkokerroksen pieni esisuotautuminen parantaa palstautumislujutta.

13.3.2 Irrotusluvut

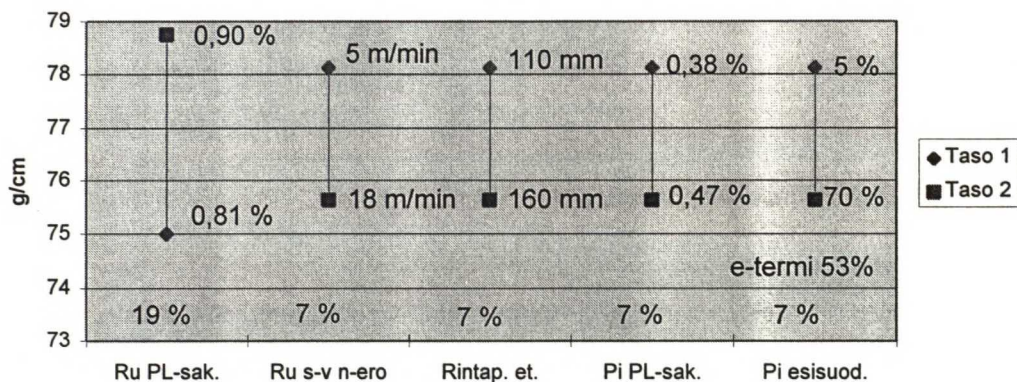
Pinnan irrotuslukua pystytään tehokkaasti hallitsemaan ennen runko- ja pintakerroksen yhteenhuopauttamista rataa suihkutettavalla spray-tärkillä. Onkin ilmeistä, että koeajon tulos pinnan irrotusluvun osalta peittyi osittain spray-tärkin vaikutuksen alle. Tutkituista hallintasuureista tehokkain tapa parantaa irrotuslukua oli runkokerroksen perälaatikkosakeuden nostaminen. Pinnan irrotusluvun hallintasuureet on esitetty kuvassa 20 ja taustan irrotusluvun hallintasuureet kuvassa 21.

TB 230 -koeajon virhetermi oli tässäkin mittauksessa suuri, mutta tulokset ovat samansuuntaisia kuin TB 325 -koeajossa. TB 280 -koeajon tulokset poikkeavat melko suuresti muista koeajotuloksista, mutta täytyy muistaa, että tämän koeajon luotettavuutta vähentää rinnakkaismääritysten puuttuminen.

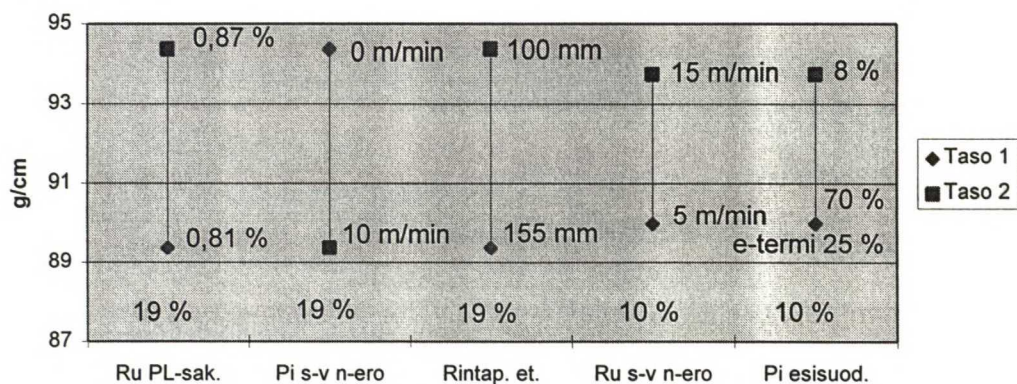
Pinnan irrotusluvun hallintasuureet, TB 280



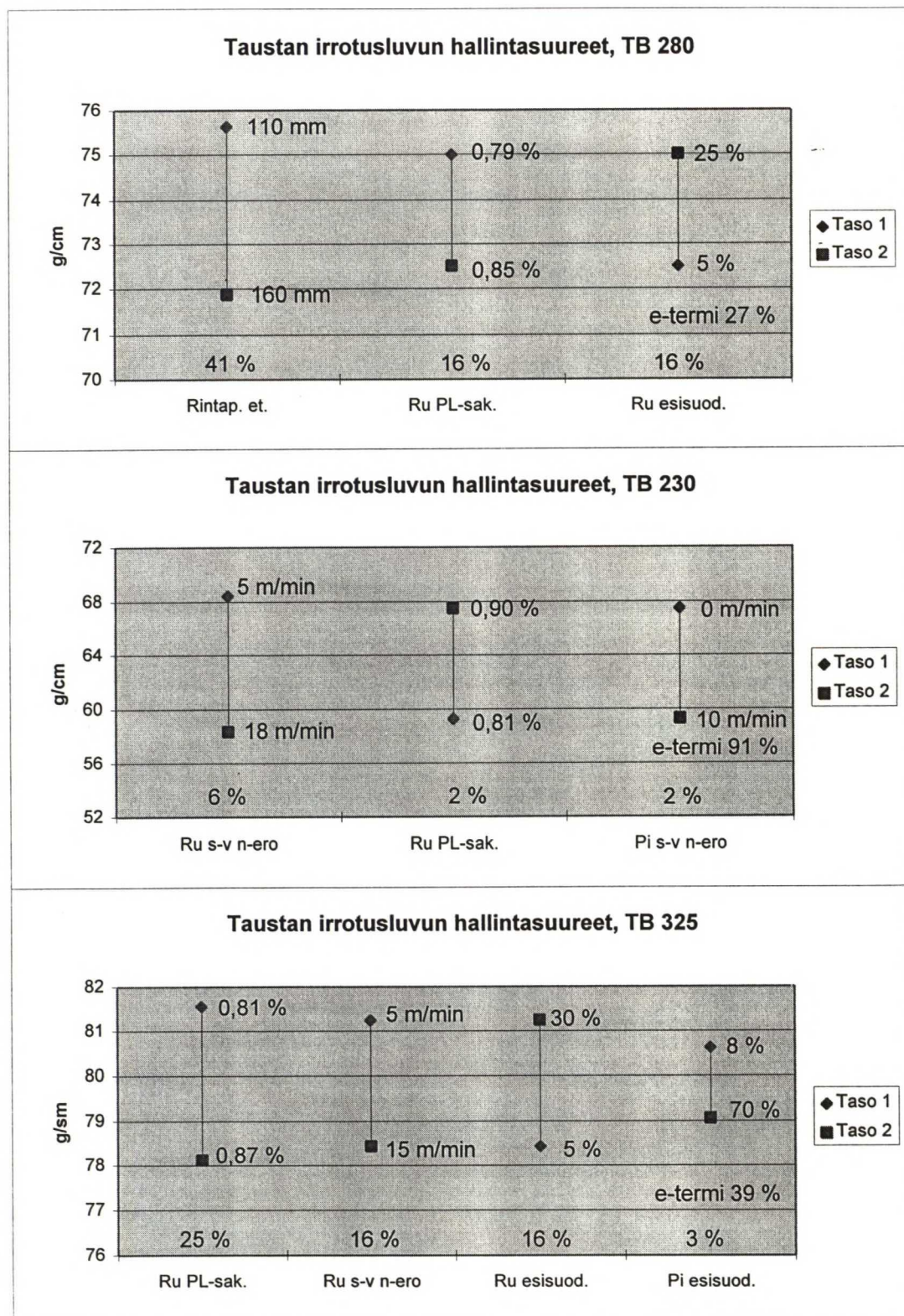
Pinnan irrotusluvun hallintasuureet, TB 230



Pinnan irrotusluvun hallintasuureet, TB 325



Kuva 20. Pinnan irrotusluvun hallintasuureet TB 280, TB 230 ja TB 325 -koeajoissa. TB 230 -koeajossa on suurehko virhetermi.



Kuva 21. Taustan irrotusluvun hallintasuureet TB 280, TB 230 ja TB 325 -koeajoissa. TB 230 -lajilla tulosten luotettavuus on huono.

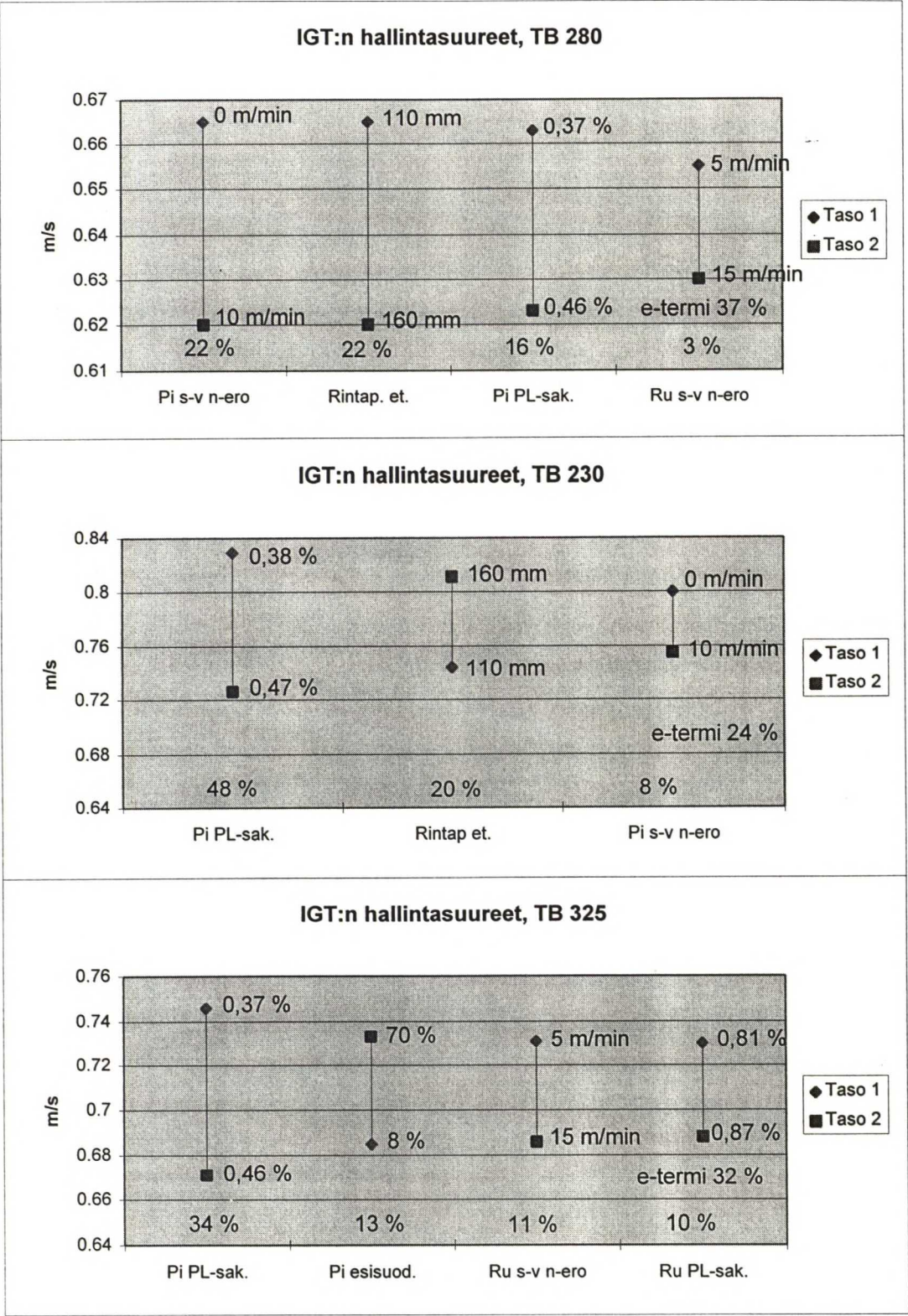
Runkokerroksen perälaatikkosakeuden lisäksi pinnan irrotuslukua voidaan parantaa pienellä runkokerroksen s-v erolla, suurella runkokerroksen iskukulmalla sekä laimealla pintaperällä.

Tausta- ja runkokerroksen väliseen irrotuslukuun ei tutkituilla hallintasuureilla ole selviä vaikutuksia. Suuret virhetermit koeajoissa, joissa tehtiin rinnakkaismääriytyksiä kertovat suuresta prosessin sisäisestä vaihtelusta. Runkokerroksen alhaisella perälaatikkosakeudella, pienellä runkokerroksen s-v erolla sekä suurella rungon esisuodatuksella näyttäisi olevan positiivinen vaikutus taustakerroksen irrotuslukuun.

Merkittävä vaikutusmekanismi irrotusluvun kannalta on kuiva-ainepitoisuus yhteenliitettävissä kerroksissa. Näissä koeajoissa ei tutkittu muutosten vaikutusta liitoskohdan kuiva-ainepitoisuuteen.

13.4 IGT-pintalujuus

Kartongin pintalujuutta mitattiin standardin SCAN-P 63:90 mukaan IGT-menetelmällä. IGT:n hallintasuureiden vaikutusjärjestys on esitetty kuvassa 22. Kiistaton havainto koeajoissa oli se, että pintakerroksen perälaatikkosakeus on pintalujuuden tärkein hallintasuure. Alhaisella pintaperälaatikon sakeudella saavutettiin kaikissa koeajoissa korkeaa sakeutta paremmat pintalujuudet. Havainnon tekee mielenkiintoiseksi se, että käytännössä asian on luultu olevan päinvastoin. Pintaperää on siis yleensä sakeutettu IGT:n parantamiseksi. Pintalujuuden ollessa alhainen on sen parantamiseen yleensä käytetty useita yhtäaikaista keinoja, eikä näiden yksittäisten muutosten vaikutusta ole tutkittu. IGT:n kannalta myös pienet s-v erot pinta- ja runkokerroksilla ovat edullisia.



Kuva 22. IGT-pintalujuuden hallintasuureet TB 280, TB 230 ja TB 325 -koeajoissa.

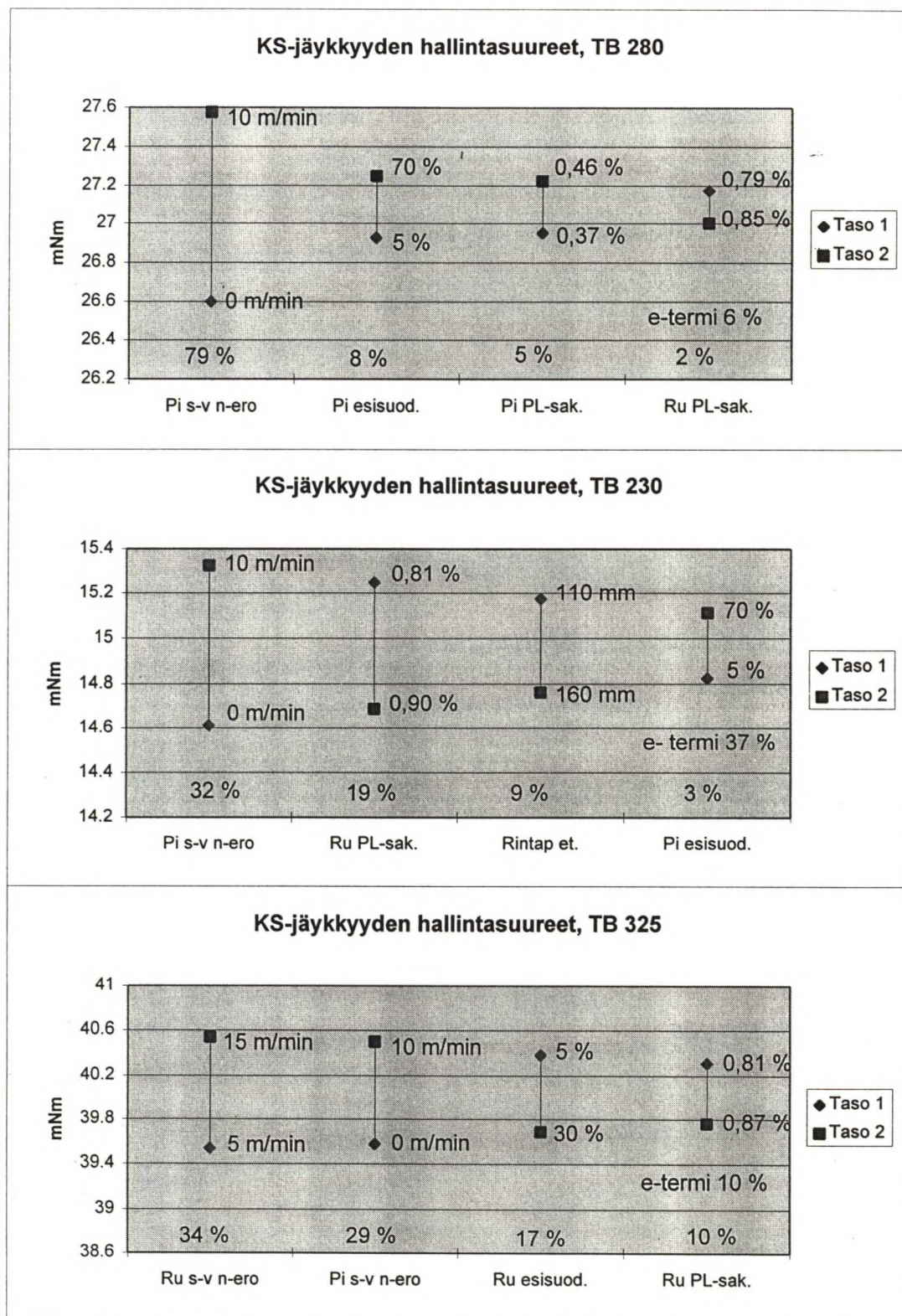
13.5 Taber-jäykkyys

Kotelonvalmistuksessa jäykkyydessä on oleellista konesuuntaisen ja poikkisuuntaisen jäykkyyden suhde. Jäykkyyssuhteessa kriittinen tekijä on useimmiten riittämätön poikkisuuntainen jäykkyys. Konesuuntaisen ja poikkisuuntaisen jäykkyyden sekä jäykkyyssuhteen hallintasuureet on esitetty kuvissa 23, 24 ja 25. Taber-mittausmenetelmä on standardin TAPPI T 489 mukainen.

13.5.1 Konesuuntainen jäykkyys

Konesuuntainen jäykkyys riippuu pitkälti kuitujen ja kuituominaisuuksien suuntautuneisuudesta. Kaikissa koeajoissa tuli selvästi ilmi, että tutkituista hallintasuureista tärkein konesuuntaiseen jäykkyyteen vaikuttava tekijä on pintakerroksen s-v ero. Yleisesti kartongin uloimpien kerrosten s-v eron kasvattaminen lisää konesuuntaista jäykkyyttä, koska kuidut orientoituvat konesuuntaan. Raskaalla kartongilla myös runkokerroksen orientaatio vaikuttaa konesuuntaiseen jäykkyyteen.

Konesuuntaista jäykkyyttä lisää koeajojen perusteella myös runkokerroksen perälaatikkosakeuden alentaminen. Voisi olettaa, että sakealla runkokerroksen perälaatikkomassalla saataisiin huopautuneempi ja samalla jäykkyyttä lisäävä bulkkinen rakenne kuin laimealla perällä. Tämä oletus ei kuitenkaan toteutunut koeajoissa.



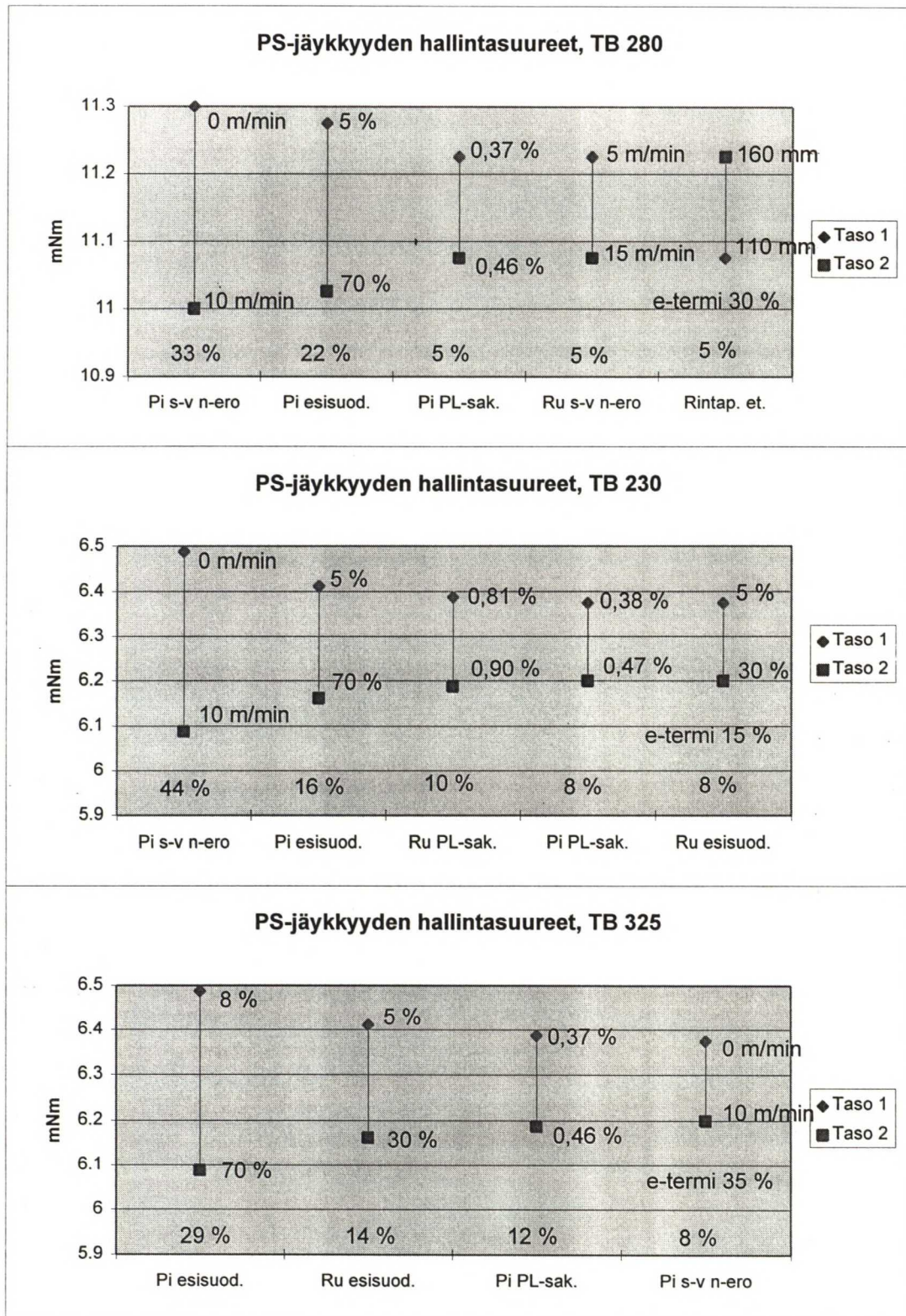
Kuva 23. Konesuuntaisen jäykkyyden hallintasuureet TB 280, TB 230 ja TB 325 -koeajoissa.

13.5.2 Poikkisuuntainen jäykkyys

Poikkisuuntaisella jäykkyydellä vaikuttavin tekijä ohuella ja keskiraskaalla kartongilla oli pintakerroksen s-v ero. Sen vaikutus näkyi myös 325 g/m^2 -kartongilla, vaikka pintakerroksen osuus kokonaispainosta on tällöin jo melko pieni. Poikkisuuntaiseen jäykkyyteen vaikuttaa myönteisesti pieni esisuodatus ja alhainen perälaatikkosakeus pintakerroksessa. Myös runkokerroksen pienellä esisuodatuksella ja alhaisella perälaatikkosakeudella on poikkisuuntaista jäykkyyttä parantava vaikutus.

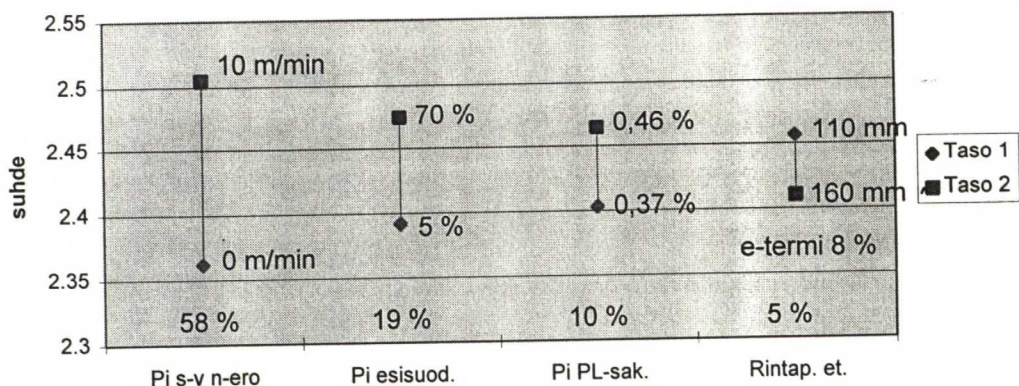
13.5.3 Jäykkyyssuhde

Jäykkyyssuhteen hallinnassa on ratkaisevinta kaikilla neliömassoilla pintakerroksen s-v ero. Voidaankin yleistää, että jäykkyyssuhteen kannalta olisi edullisinta ajaa sekä pinta- että taustakerroksia tasaperällä, jollei jokin muu syy pakota siitä poikkeamaan. Jäykkyyssuhteen hallintasuureista nousevat lisäksi esiin pintakerroksen alhaisen perälaatikkosakeuden ja pienen esisuodatuksen edullisuus. Vaikuttaa myös siltä, että runkokerroksen pieni iskukulma on edullinen jäykkyyssuhteen kannalta.

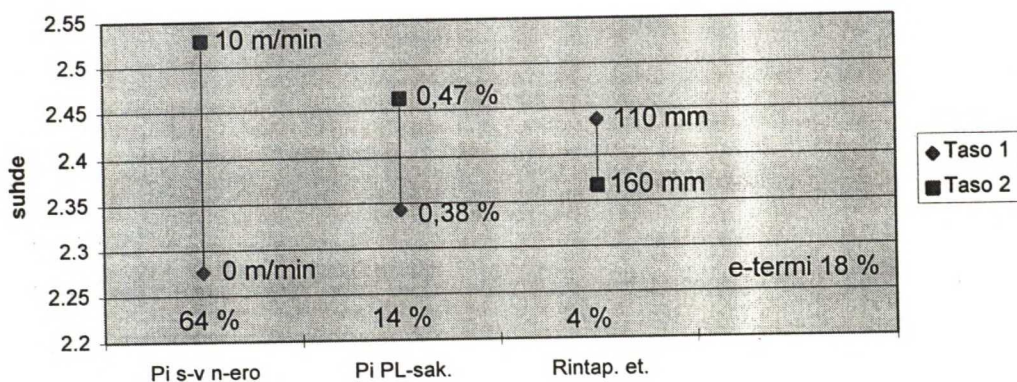


Kuva 24. Poikkisuuntaisen jäykkyyden hallintasuureet TB 280, TB 230 ja TB 325 -koeajoissa.

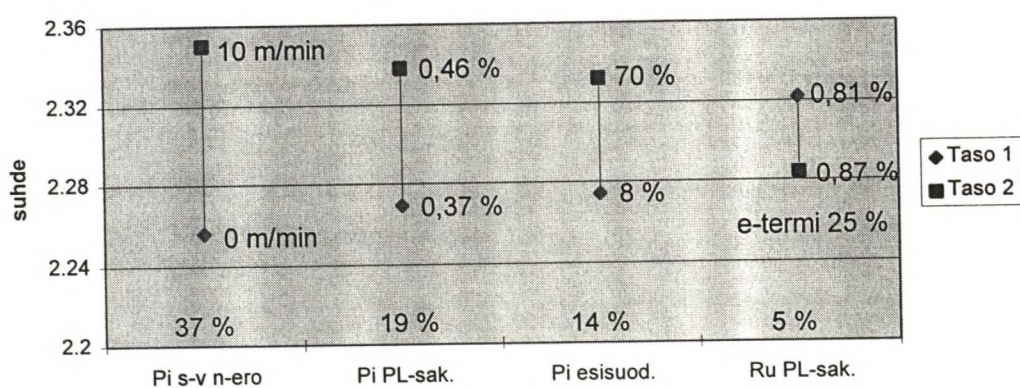
Jäykkyysuhteen hallintasuureet, TB 280



Jäykkyysuhteen hallintasuureet, TB 230



Jäykkyysuhteen hallintasuureet, TB 325



Kuva 25. Kone- ja poikkisuuntaisen jäykkyyden suhteen hallintasuureet TB 280, TB 230 ja TB 325 -koeajoissa.

13.6 Kartongin vetolujuus

Kartongin konesuuntaisen ja poikkisuuntaisen vetolujuuden sekä vetolujuussuhteen hallintasuureet on esitetty kuvissa 26, 27 ja 28. Vetolujuuksiin vaikuttaa suuresti kuitujen suuntaisuus. Niinpä tutkituista hallintasuureista vetolujuuteen vaikuttavat hallintasuureet ovat paljolti samoja kuin jäykkyyteen vaikuttavat. Vetolujuusmittaus on tehty standardin SCAN-P 16:76 mukaan.

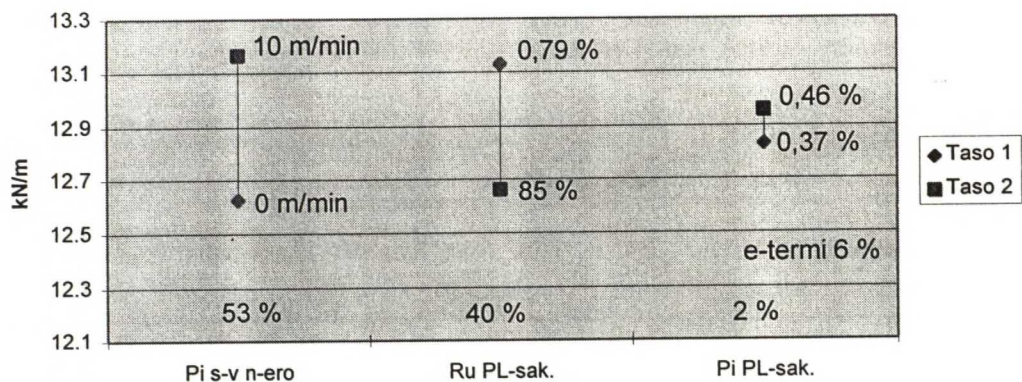
13.6.1 Konesuuntainen vetolujuus

Konesuuntaisen vetolujuuden hallinnassa tärkein tutkituista hallintasuureista oli pintakerroksen s-v ero. Se oli tärkein hallintasuure kaikilla neliömassoilla, ja sen vaikutusosuus kasvoi neliömassan alentuessa. Toinen selkeästi konesuuntaiseen vetolujuuteen vaikuttanut tekijä on runkokerroksen perälaatikkosakeus. Sakeuden aleneminen lisää tasonsuuntaisia lujuusominaisuuksia. Runkokerroksen osuuden ollessa suuri, kuten keskiraskailla ja raskailla lajeilla, runkoperän laimennus parantaa konesuuntaista vetolujuutta.

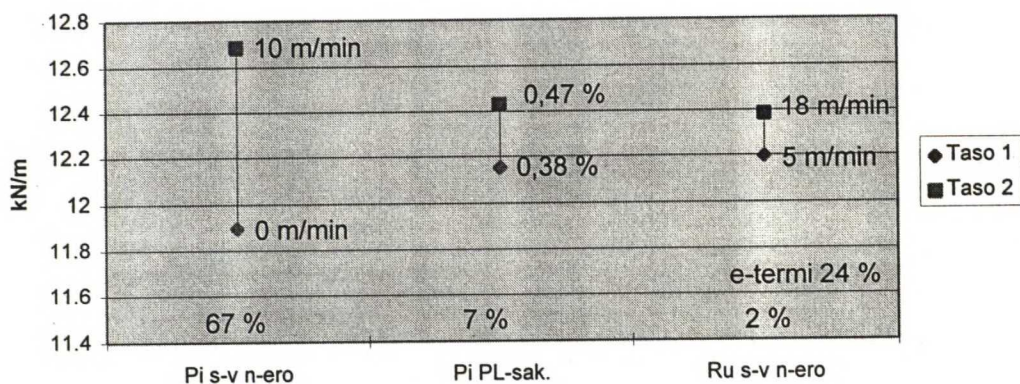
13.6.2 Poikkisuuntainen vetolujuus

Poikkisuuntaisen vetolujuuden hallinnassa tärkein tekijä on pinnan s-v ero. Pinnan tasaperällä saadaan paras poikkisuuntainen vetolujuus. Pinnan s-v eron vaikutus on suurin kevyillä lajeilla, suuri vielä keskiraskailla, mutta se ei juurikaan vaikuta raskailla lajeilla. Runkokerroksen alhaisen perälaatikkosakeuden poikkisuuntaista vetolujuutta parantava vaikutus on suurin raskailla lajeilla, mutta näkyy kaikilla neliömassoilla. Myös alhainen pintakerroksen perälaatikkosakeus on tärkeä poikkisuuntaisen vetolujuuden parantaja kaikilla neliömassoilla.

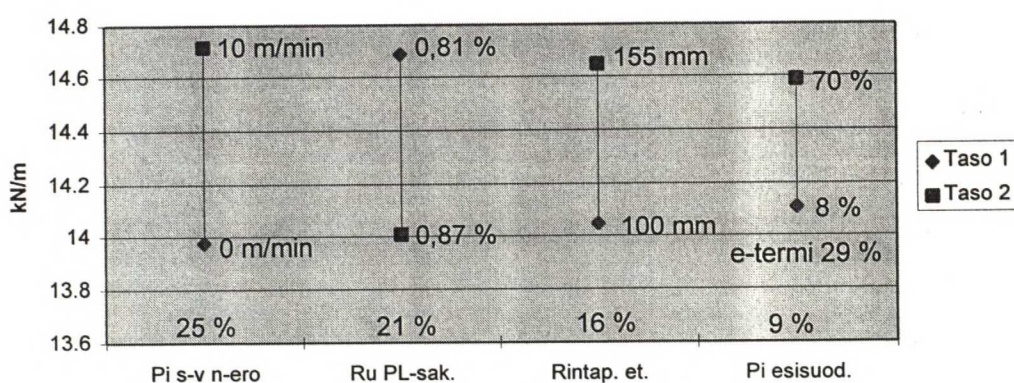
KS-vetolujuuden hallintasuureet, TB 280



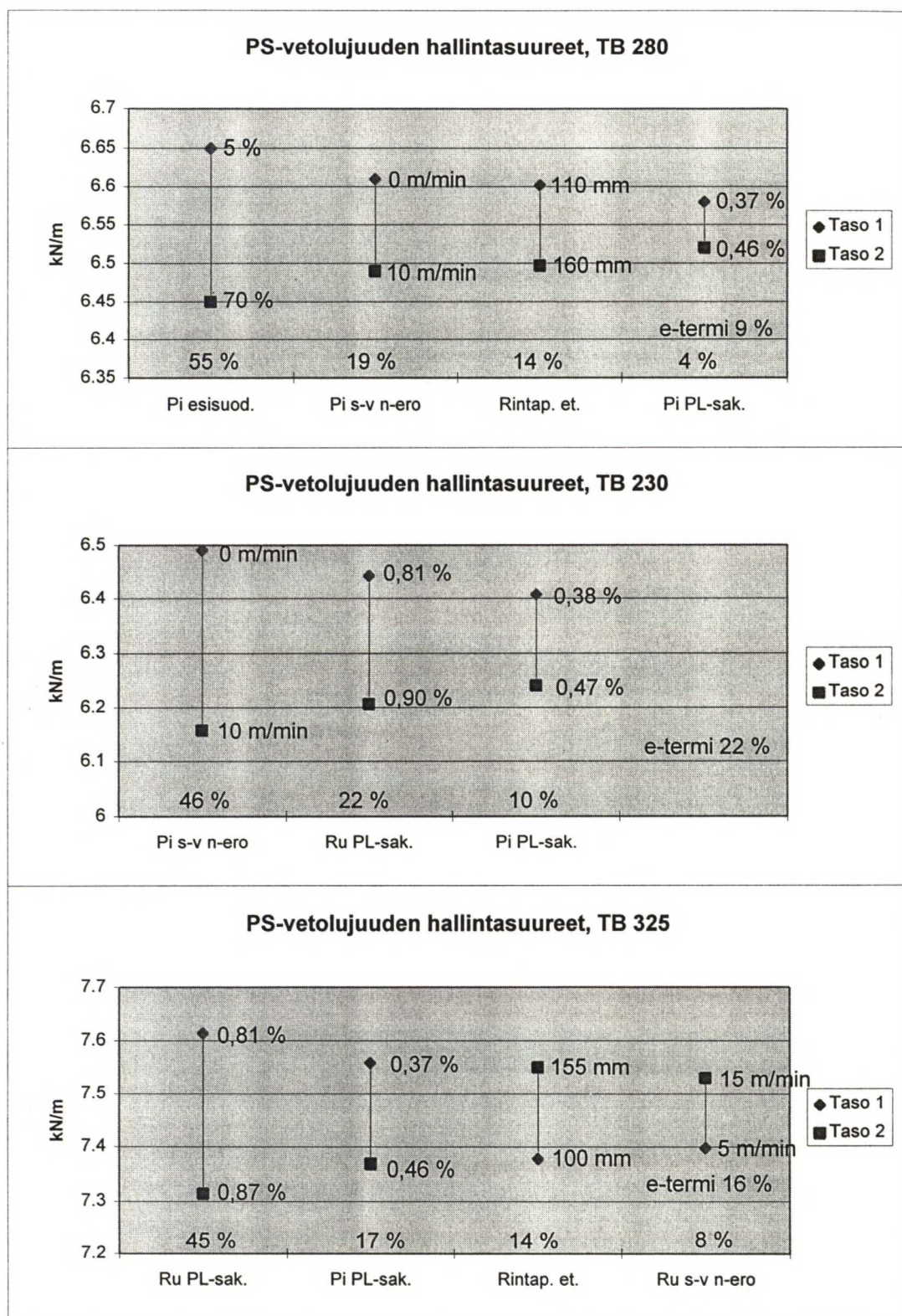
KS-vetolujuuden hallintasuureet, TB 230



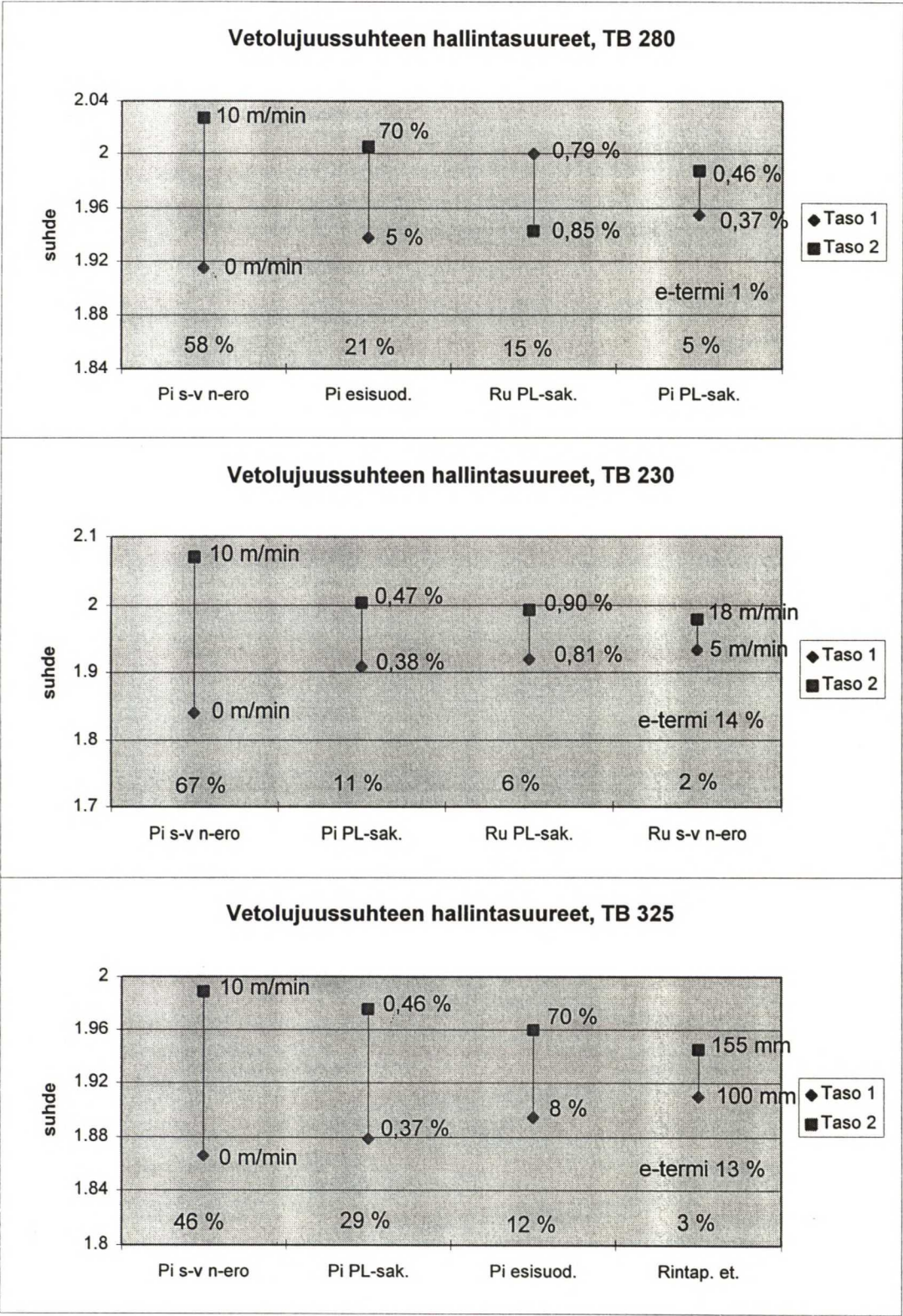
KS-vetolujuuden hallintasuureet, TB 325



Kuva 26. Konesuuntaisen vetolujuuden hallintasuureet TB 280, TB 230 ja TB 325 -koeajoissa.



Kuva 27. Poikkisuuntaisen vetolujuuden hallintasuureet TB 280, TB 230 ja TB 325 -koeajoissa.



Kuva 28. Konesuuntaisen ja poikkisuuntaisen vetolujuuden suhteen hallintasuureet TB 280, TB 230 ja TB 325 -koeajoissa.

13.6.3 Vetolujuussuhde

Kone- ja poikkisuuntaisen vetolujuuden suhteen tärkein hallintasuure kaikilla neliömassoilla on pintakerroksen s-v ero. Suhde on pienin tasaperällä. Suhteen hallinnassa vaikutusta on myös pintakerroksen perälaatikkosakeudella. Alhainen sakeus pienentää vetolujuussuhdetta. Myös pintakerroksen pieni esisuo-
datus alentaa vetolujuussuhdetta.

13.7 Koepainatus

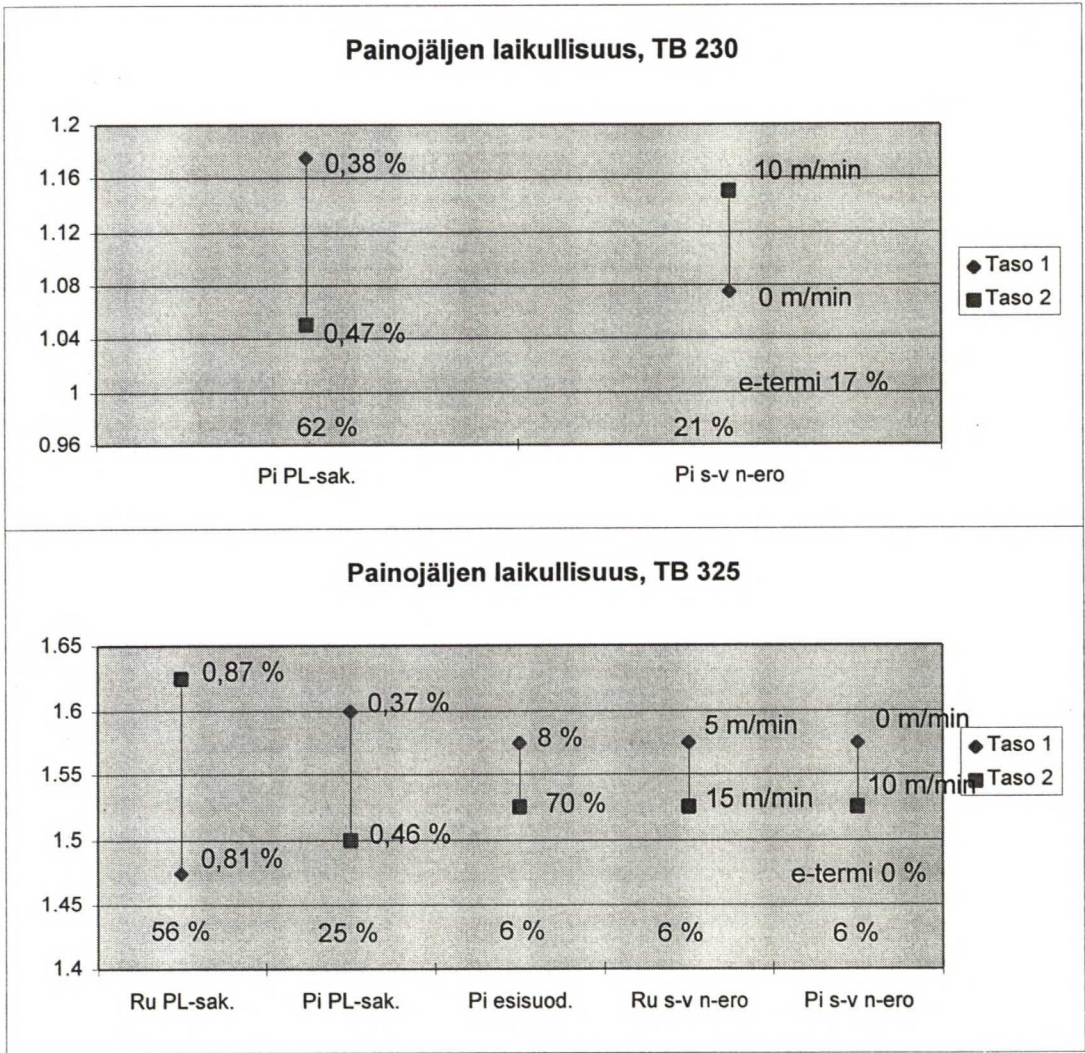
Ensimmäisestä Taguchi-koeajosta lähetettiin muutamista koepisteistä painatusnäytteet Keskuslaboratorioon. Toisesta ja kolmannesta koeajossa lähetettiin kaikista koepisteistä näytteet KCL:ään, jossa ne painettiin arkkioffset -painokoneella, ja painetuista näytteistä tehtiin mittaukset. Painatusnäytteiden mittaustulokset on esitetty liitteessä 4.

Kuvissa 29 ja 30 on esitetty TB 230- ja TB 325 -koeajojen painatuksesta määriteltyjen laikullisuuden ja jyväisyyden Taguchi-analysoinnit. Painojäljen laikullisuuden ja jyväisyyden hallintasuureiden tarkastelu on tehty 70 % peitteisestä syaanipinnasta. Kaikenkaikkiaan erot eri koepisteistä painetuissa näytteissä olivat niin pieniä, että mitään varmoja johtopäätöksiä niiden pohjalta ei voida tehdä.

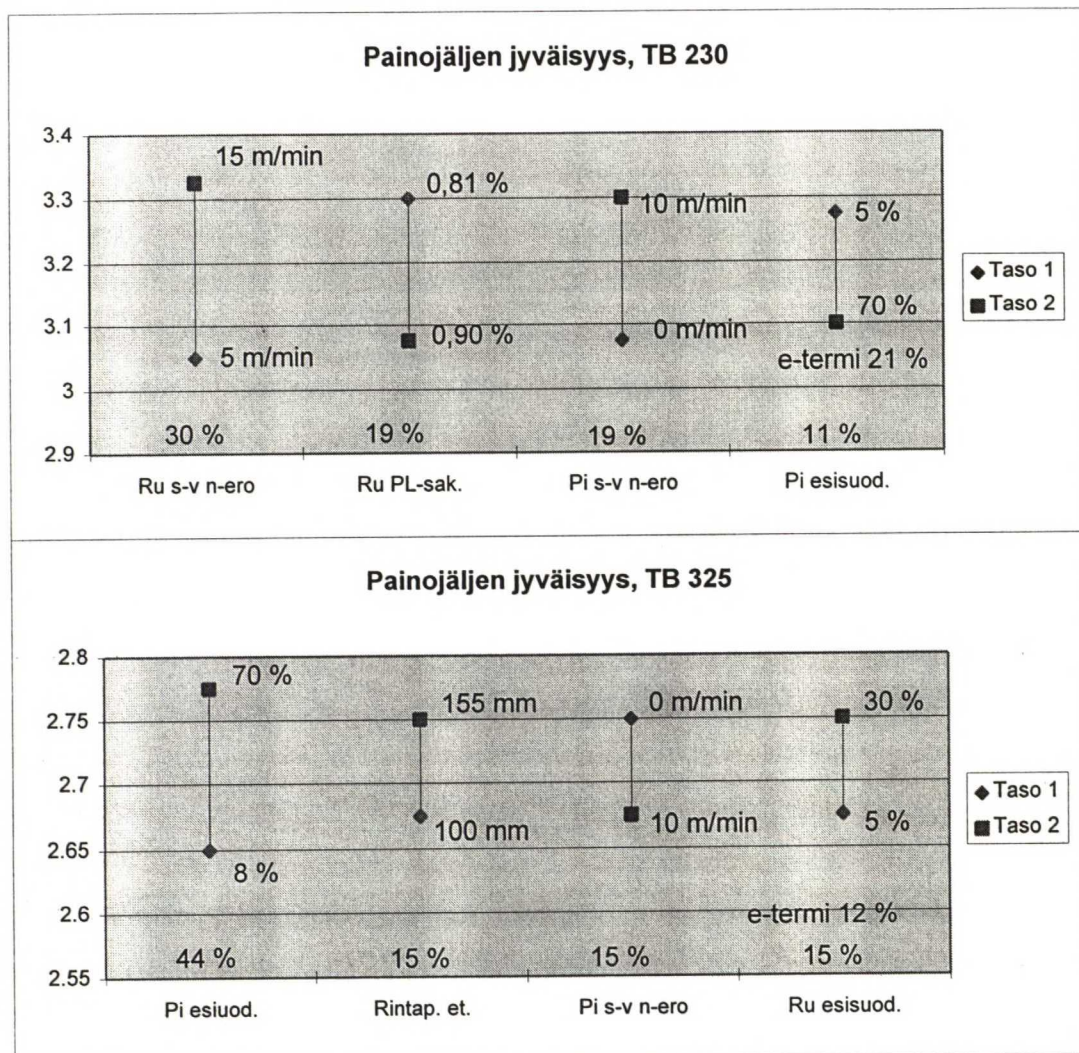
Laikullisuutta vähentää kevyellä kartongilla parhaiten suuri perälaatikkosakeus pintakerroksella. Suurella pinnan perälaatikkosakeudella on edullinen vaikutus myös raskaalla kartongilla, mutta tehokkain laikullisuuden vähentäjä raskailla lajeilla on alhainen runkokerroksen perälaatikkosakeus.

Jyväisyyden suhteen eri hallintasuureiden vaikutukset olivat melko ristikkäisiä TB 230- ja TB 325 -lajeilla. Mitään yksittäistä hallintasuuretta, jolla painojäljen jyväisyyteen voitaisiin vaikuttaa, ei tullut ilmi.

On oletettavaa, että formaation huononeminen lisää painojäljen mottlingia, mutta näissä koeajoissa saadut formaatioerot eivät näkyneet laikullisuudessa ja jyväisyydessä.



Kuva 29. Painojäljen laikullisuuden hallintasuureet TB 230 ja TB 325 -koeajoissa.



Kuva 30. Painojäljen jyväsyyden hallintasuureet TB 230 ja TB 325 -koeajoissa.

13.8 Hallintasuureiden optimointi ja varmistuskokeet

Koeajoissa saatujen tulosten luotettavuuden selvittämiseksi suoritettiin 21.2.1996 varmistuskoejo. Ajossa oli tällöin TB 270 -kartonki. Varmistuskoeajo toteutettiin siten, että ensin ajettiin useita tunteja koneen tyypillisillä ajoarvoilla. Tämän jälkeen hallintasuureiden arvot muutettiin Taguchi-kokeissa optimoiduiksi ja verrattiin tilanteiden eroja kartongin laadussa.

Varmistuskokeen kahden eri tilanteen ajoarvot ja koeajossa mitatut tulokset on esitetty liitteessä 5.

Optimoiduilla arvoilla haettiin hyvää formaatiota. Formaatiota seurattiin tarkastelemalla kartongin pohjanmuodostusta valopöydällä sekä seuraamalla koneen formaatiomittaria. Optimoiduilla ajoarvoilla saavutettiin hyvä pohja. Koneen formaatiomittarin indeksi oli "perinteisellä" ajotavalla luokkaa 68-69, mistä se laski optimoiduilla arvoilla tasolle 65. Ero oli siis varsin merkittävä.

Kovin suuria eroja ei kartongin laadussa varmistuskokeessa tullut. Eniten optimoidulla ajotavalla paranivat taustapuolen irrotusluku (9 %), konesuuntainen vetolujuus (5 %) ja pintapuolen PPS₁₀ (5%). Eniten heikkeni Scott-Bond (20%). Palstautumislujuuden heikkeneminen oli odotettua, mutta sen voimakkuus yllätti. Toinen heikentynyt laatuarvo oli Bendtsen-sileyys (18 %), jonka heikkeneminen muutamalla yksiköllä saattoi aiheutua myös muista kuin optimoiduista hallintasuureista.

Varmistuskoe vahvisti useita Taguchi-koeajojen havaintoja. Yhtään aikaisemmissa koeajoissa tehtyä havaintoa ei myöskään kumoutunut. Varmistuskoe oli hieman suunniteltua lyhyempi, koska loppuvaiheessa tullut koneen märänpään katko keskeytti koeajon.

13.9 Tulosten luotettavuuden arviointi

Tässä työssä tehtyjen tulosten luotettavuutta lisää koeajoissa tehty osittainen koetoisto. Kolme hyvin samantyyppistä koeajoa suoritettiin kolmella eri kartongilla. Näiden kolmen koeajon tuloksista voi havaita yhtenäisiä vaikutustapoja, vaikka eri neliömassoilla on myös eroja.

Eri koeajoissa on jokaiselle hallintasuureelle laskettu prosenttiluku, joka kuvaa kyseisen hallintasuureen vaikutusta tutkitun tilasuureen vaihteluun. E-termi kuvaa muiden kuin valittujen hallintasuureiden osuutta vaihtelun aiheuttajina.

Kartongin tilasuureiden mittaukset on tehty kokeneiden laboratoriotyöntekijöiden toimesta. Mittausvirheiden vaikutus tässä koeajosarjassa kokeen lopputulokseen on pieni. Laboratoriomittausten tuloksista on myös laskettu tulosten hajontaa kuvaavat 95 %:n luottamusvälit, jotka on esitetty tulosten yhteydessä liitteessä 3.

14. KARTONGIN TILASUUREIDEN VÄLISET YHTEYDET

Monet kartongin tilasuureet käyttäytyvät päinvastaisesti valmistuksen hallintaparametreja muutettaessa. Jotakin yksittäistä tilasuuretta parannettaessa saatetaan heikentää useita muita. Kartongin tilasuureiden välisiä yhteyksiä selvitettiin laske-malla mitatuista ominaisuuksista korrelaatiot. Kolmen koeajon tilasuureista lasketut korrelaatiot on esitetty liitteessä 6.

Liitteessä 6 olevien korrelaatioiden avulla voidaan arvioida, miten muut kartongin tilasuureet käyttäytyvät, kun tiettyä tilasuuretta, esimerkiksi jäykkyysuhdetta, halutaan parantaa.

15. TULOKSIA ERILLISKOKEISTA

15.1 TSO-mittaus

Ensimmäisen Taguchi-koeajon yhteydessä TB 280 -kartongilla tutkittiin koeajossa tehtyjen muutosten vaikutusta kartongin kuituorientaatioon. Jokaisen koepisteen yhteydessä otettiin konerullasta ylimääräinen poikkiratanäyte, joka analysoitiin TSO-mittauksella. TSO-mittausmenetelmä on selostettu liitteessä 1, ja tulokset mittauksista on esitetty liitteessä 7.

TSO-mittauksissa ei havaittu suihkun ja viiran nopeuseron muuttamisen pinta- ja runkokerroksella juurikaan vaikuttavan koko kartongista mitatuttuun kuituorientaatioon. Poikkisuuntaiset orientaatioprofiilit olivat kohtuullisen hyviä, sillä orientaatiokulma ei missään poikkiratanäytteessä vaihdellut suuresti.

15.2 Rullausvauriotutkimus

TB 280 -koeajossa tarkasteltiin myös pope-rullauksen vaikutusta kartongin laatuun. Tutkimus suoritettiin siten, että koepisteiden 1, 3 ja 8 ajoarvoilla otettiin poikkiratanäytteet myös konerullan pohjan läheltä, n. 15 cm raudan pinnasta.

Konerullan sisältä otetuista näytteistä tehtiin samat mittaukset kuin päältä otetuista näytteistä. Liitteessä 8 on esitetty erot konerullan päältä ja sisältä mitatuista näytteistä. Tulokista on havaittavissa rullauksen vaikuttavan kaikkiin kartongin pintaominaisuuksiin heikentävästi. Myös paksuutta ja siten bulkkia menetetään rullauksessa. Poperullauksen keskimääräinen vaikutus kartongin laatuun on kuitenkin pieni. Ainoastaan Bendtsen-sileydessä arvot konerullan sisällä olivat selvästi

pintaa huonommat. Lisäksi tämän kokeen ulkopuolella on havaittu poperullauksen aiheuttavan kartonkiin paikoitellen epätasaista kiillottumaa.

Rullausvauriotutkimus oli melko suppea, mutta tulokset antavat aiheen olettaa, että pituusleikkaus ja arkitus heikentävät kartongin laatua enemmän kuin pope-rullaus.

15.3 Perälaatikoiden nopeuserosäätökokeilu

Kokeilussa havaittiin, että nopeuserosäätö on suihkusuhdesäätöä parempi säätötapa. Nopeuserosäädöllä saatiin kartongin tilasuurteiden taso pidettyä vakaampana kuin perinteisellä suihkusuhdesäädöllä. Esimerkiksi poikkisuuntaisen jäykkyyden tavoitetasot saavutettiin poikkeuksetta. Koko kartonkikoneen nopeusalueella toimivaksi nopeuseroarvoksi runkokerroksella osoittautui n. 10 m/min.

15.4 Reuna-aaltotarkastelu

Reuna-aaltoja tarkkailtiin kaikissa kolmessa Taguchi-koeajossa. Nopeiden ulosvirtausmuutosten jälkeen näkyi muutoksia myös reuna-aalloissa. Reuna-aallot yleensä tasoittuivat siinä vaiheessa, kun profiilinsäätöautomaatti sai ajettua runkoperälaatikon huulikarat oikeisiin asentoihin. Neliömassan poikkisuuntaisen vaihtelun hajoinnoista ei löytynyt yhtäläistä käyttäytymistä eri koeajoissa. Näin ollen reuna-aaltojen hallinnassa on tärkeää, että viiran reunarajaimilla ehkäistään suurten reuna-aaltojen syntyminen.

16. EHDOTUKSET JATKOTOIMENPITEIKSI

Tässä työssä tehdyillä koeajoilla on saatu kartoitettua huulisuihkujen hallintasuureiden vaikutuksia taivekartongin laatuun. Koska kartongin tilasuureisiin voidaan vaikuttaa koko koneen hallintasuureilla, voisi olla mielekästä kartoittaa muiden hallintasuureiden vaikutusta laatuun. Tämä voisi tapahtua esimerkiksi siten, että tilasuure kerrallaan ajettaisiin Taguchi-matriisi.

Lisäkartoitusta voisi tehdä esimerkiksi formaatioon, jäykkyys-suhteeseen, sileyteen, Scott-Bondiin sekä irrotuslukuihin vaikuttavista hallintasuureista. Tutkimukseen voisi ottaa hallintasuureiksi massojen koostumukset, karkeusasteet (jauhatukset), kemikaaliannostelut (retentio-aineet), kartongin kerroksittaisen neliömassan, tärkeimmät perälaatikon hallintasuureet, viiraosan hallintasuureet ja päällystyksen keskeiset hallintasuureet.

17. YHTEENVETO

Tässä työssä tutkittiin perälaatikon hallintaparametrien vaikutusta taivekartongin laatuun. Samalla selvitettiin Valmet Opti-jet -huulisuihkulaskennan hyödyllisyyttä taivekartongin rainanmuodostuksessa. Tehdaskokeiden runkona oli kolmen Taguchi-koesuunnitteluun perustuvan koeajon sarja, jossa seurattiin varsinaisen tutkimuksen lisäksi Taguchi-koesuunnittelun soveltuvuutta tuotannon yhteydessä tapahtuviin tehdaskokeisiin.

Koeajojen perusteella vaikuttaa siltä, että kevyillä taivekartonkilajeilla saadaan melko helposti riittävän hyvä formaatio, jolloin voidaan tarvittaessa vaikuttaa esimerkiksi lujuus- tai jäykkyysominaisuuksiin ajamalla sakeillakin perälaatikkomas-

soilla. Raskailla kartongeilla puolestaan kartongin runkokerros on reilusti yli 200 g/m^2 , jolloin runkokerroksen viiralla muodostuvassa rainassa olevia kuituja ei enää saada värähtelemään. Tämän takia raskaiden kartonkien formaatio on usein huono, ja huonon formaation vaikutus tuntuu useissa kartongin tilasuureissa. Raskaiden, yli 300 g/m^2 painoisten, lajien ajotavan tulisi olla mahdollisimman hyvään formaatioon tähtäävä. Tällöin tulisi ajaa alhaisilla perälaatikkosakeuksilla. Raskailla lajeilla palstautuminen ei yleensä ole ongelma, joten se ei estä perälaatikkomassojen laimentamista.

Kevyillä lajeilla joudutaan siis optimoimaan huulisuihkuja monien tilasuureiden suhteen, joista formaatio ei useinkaan ole kriittinen. Raskailla lajeilla formaation hallinta nousee keskeiseksi, ja näillä lajeilla hyvän formaation aikaansaaminen takaa myös monien muiden tilasuureiden hyvän ja tasaisen tason.

Työssä apuna käytetty Optijet-huulisuihkulaskenta on havainnollinen työkalu, jolla pystytään hallitsemaan perälaatikon ja huuliosan parametreja. Käytännössä Optijetin antamista tiedoista ei kuitenkaan havaittu olevan hyötyä muutamaa poikkeusta lukuunottamatta. Esimerkiksi esisuodauksen määrä ja huulisuihkun iskuetäisyys ovat hyödyllisiä, koska tällöin voidaan valvomon päätteeltä havaita huulisuihkun meneminen kokonaan rintapöydän kärkilistalle tai vastaavasti huulisuihkun ajaminen liikaa rintapöydän eteen. Myös perinteistä huulisuihkulaskentaa tarkempi suihkun nopeuden laskenta huuliaukon koon muuttuessa helpottaa kartonkikoneen ajamista.

Optijet-laskennan haittapuolena on se, että laskennan lähtötietojen oikeellisuus on tarkastettava säännöllisin väliajoin. Esimerkiksi perälaatikon huulien asentolähettimien ja painemitauksen virheet korostuvat voimakkaasti laskennan arvoissa.

Taguchi-koesuunnittelu osoitti käyttökelpoisuutensa kartonginvalmistusprosessissa. Sillä voidaan hakea suuresta tutkittavien hallintasuureiden joukosta kohtuullisessa ajassa tärkeimmät vaikuttajat. Tärkeää kuitenkin on, että koeajoissa tutkittavien muuttujien tasot poikkeavat riittävästi toisistaan, ja että kokeen tulokset varmistetaan erillisellä varmistuskoeajolla. Koesuunnitteluun on myös syytä perehtyä huolellisesti ennen koetta, koska kartonginvalmistusprosessissa on aina sisäistä huojuntaa, joka vaikuttaa kokeen tulosten luotettavuuteen, jollei sitä oteta kokeessa huomioon.

LÄHDELUETTELO

1. AHLSKOG, B., Päälystettyjen kartonkilaatujen esittely ja niiden kehitystrendit. Helsinki 1987. Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus. Julkaisu 146-87. Kartongin päälystys. 16 s.
2. MAURANEN, P., Tärkeimmät paperi- ja kartonkilajit. Paperin valmistus, osa 1. Toim. A. Arjas. Julk. SPIY/TTA. Turku 1983. s. 361-390.
3. RYTI, N., Paperimassan hyvyyden luonnehtiminen. Paperin valmistus, osa 1. Toim. A. Arjas. Julk. SPIY/TTA. Turku 1983. s. 345-359.
4. KIVIRANTA, A., Kartonkikoneen märkäosan vaikutus taivekartongin formaatioon. Lisensiaatintyö. Teknillinen korkeakoulu, prosessi- ja materiaalitekniikan osasto. Espoo 1990. 192 s.
5. KATAJAMÄKI, S., Taivekartongin tuoteanalyysi. Vammala 1990. Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus. Julkaisu 35-90. Puusta paperiin - paperin valmistus. 7 s.
6. KAJANTO, I., Formaatio. Espoo 1990. Julk. Teknillinen korkeakoulu, puunjalostustekniikan laitos, Puu-21.118 Kuitu- ja paperifysiikka opetusmoniste. 17 s.
7. AALTONEN, P., von PFALER, J., RYTI, N., Rainanmuodostus. Paperin valmistus, osa 1. Toim. A. Arjas. Julk. SPIY/TTA. Turku 1983. s. 551-606
8. SARA, H., The characterization and measurement of paper formation with standard deviation and power spectrum. Tohtorin väitöskirja. Teknillinen korkeakoulu, puunjalostustekniikan laitos. Helsinki 1978. 162 s.

9. NISKANEN, K., Kuituorientaatio ja sisäiset jännitykset. Julk. Teknillinen korkeakoulu, puunjalostustekniikan laitos, Puu-21.118 Kuitu- ja paperifysiikka opetusmoniste. 28 s.
10. PAULAPURO, H., Paperinvalmistusprosessin vaikutus paperin rakenteeseen. Julk. Teknillinen korkeakoulu, puunjalostustekniikan laitos, Puu-21.118 Kuitu- ja paperifysiikka opetusmoniste. 47s.
11. JUVONEN, K., Kartongin formaation mittaust ja formaation vaikutus kartongin pinnan ominaisuuksiin. Lisensiaatintyö. Teknillinen korkeakoulu, Prosessi- ja materiaalitekniikan osasto. Espoo 1993, 90 s.
12. KAJANTO, I., KOMPPA, A., RITALA, R., How formation should be measured and characterized. Nordic Pulp and Paper Research Journal. 4(1989)3, s. 219-228.
13. MADSEN, V., ANELIUNAS, A., The effect of formation on print quality. Tappi 51(1968)7, s. 309-314.
14. MANSON, D., The practical aspects of formation. TAPPI Wet End Operations Short Course. Portland, OR, May 3-7, 1993. Julk. TAPPI Press, Atlanta, GA 1993. s. 25-38.
15. KAJANTO, I., The effect of formation on print quality with woodfree offset papers. Nordic Pulp and Paper Research Journal 4(1989)1, s. 8-15.
16. SAARELMA, H., OITTINEN, P., Graafisen tekniikan perusteet. Otakustantamo 513. Otaniemi 1988. 212 s.

17. ASCHAN, P.-J., MAKKONEN, T., PAAKKO, J., Board surface structure and gravure printability. Paperi ja Puu 68(1986)1, s. 30-31, 33-34.

18. JOKINEN, R., Päälystämättömän taivekartongin kansikerroksen luonnehtiminen laminointia ja syväpainoa silmälläpitäen. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, Puunjalostusosasto. Espoo 1982. 91 s.

19. PALOKANGAS, A., Pohjakartongin merkitys päälystyksessä. Helsinki 1987. Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus. Julkaisu 146-87. Kartongin päälystys. 14 s.

20. NORDMAN, L., AALTONEN, P., Paperin rakenne. Paperin valmistus, osa 1. Toim. A. Arjas. Julk. SPY/TTA. Turku 1983. s. 169-206.

21. TERLAND, O., FELLERS, C., Formationens betydelse för papperets mekaniska egenskaper. STFi Rapport 500, September 1987.

22. RYTI, N., PAULAPURO, H., RATH, B., The influence of the high turbulence headbox on the properties of paper. Paperi ja puu 61(1979)11, 763-764, 767-770, 773, 775-777.

23. PANTALEO, S., Modern Headboxes-Their Role and Capabilities in The Sheet Forming Process. TAPPI Wet End Operations Short Course. Portland, OR, May 3-7, 1993. Julk. TAPPI Press, Atlanta, GA 1993. s. 79-98.

24. HANSEN, V., Water Management For The Wet End Part 1. TAPPI Wet End Operations Seminar. Denver, CO, May 9-13, 1988. Julk. TAPPI Press, Atlanta 1988. s. 129-185.

25. RADVAN, B., Forming the web of paper. Handbook of paper-science, osa 1. The Raw Materials and Processing of Paper-making. Toim. H. F. Rance. Julk. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam 1980, s. 165-207.

26. RYTI, N., AALTONEN, P., PERTTILÄ, T., TALJA, M., Device for the production of fibre-oriented laboratory hadsheets. Paperi ja Puu 51(1969)3, 207-209, 211-212.

27. PAJUSAARI, J-P., Perälaatikon säätöpiirien viritys ja kunnossapito-ohje. Valmet Automaatio. Tampere 1995. 15 s.

28. HOLIK, H., HESS, H., TIETZ, M., Fluid mechanics in the headbox - the key to improving paper quality. TAPPI Engineerin Conference. Atlanta, GA, Sept 19-22, 1994. Julk. TAPPI Press, Atlanta, GA 1994. Book 1, s. 247-257.

29. SÖREMARK, C., JOHANSSON, G., KIVIRANTA, A., Characterizati-on and elimination of fiber orientation streaks. TAPPI Engineerin Conference. Atlanta, GA, Sept 19-22, 1994. Julk. TAPPI Press, Atlanta, GA 1994. Book 1, s. 97-104.

30. KARLSSON, H., LUNDQUIST, I., ÖSTMAN, T., Spara pengar opti-mera tvärsprofilstyrningen. Svensk Papperstidning. 86(1983)7, s. 30-41.

31. SHAKESPEARE, J., KNIIVILÄ, J., KORPINEN, A., JOHANSSON, T., An on-line control system for simultaneous optimization of ba-sis weight and orientation angle profiles. The first Ecopaper-tech. An international Conference on Papermaking and Paper Machine Technology. Helsinki, Finland, 6-9 June, 1995. FPPRI and The Finnish Paper Engineerings' association, Helsinki 1994. s. 39-50.

32. CHEN, S.-C., ADLER, L., Cross machine profile control for heavy weight paper. 24th EUCEPA Conference: Control, Maintenance, Environment. Stockholm, Sweden. May 8-11, 1990. Julk. EUCEPA, Stockholm, Sweden 1990. s. 77-94.

33. BEETS, N., Cross machine mass control: important considerations. Paper Southern Africa. 6(1986)2, s. 23-24, 29.

34. FARRINGTON, T., Soft X-ray imaging can be used to assess sheet formation and quality. TAPPI Engineering Conference. New Orleans, LA, September 14-17, 1987 Julk. TAPPI Press, Atlanta, GA 1987. s. 633-639.

35. NISKANEN, K., SADOWSKI, J., Evaluation of some fibre orientation measurements. Journal of Pulp and Paper Science. 15(1989)6, s. J220-J224.

36. LAITINEN, J., Paperikoneen yleinen toiminta. Tampere 1989. Oy Tampella Ab. 53 s.

37. ANON, Ingerois. Inkeröisten kartonkitehtaan markkinointiesite. 12 s.

38. HÄRKISAARI, J., ILMONIEMI, E., KOSKIMIES, J., MAURANEN, P., Massalietteen laimennus ja syöttö paperi-koneelle. Paperin valmistus, osa 1. Toim. A. Arjas. Julk. SPIY/TTA. Turku 1983. s. 525-550.

39. SIITONEN, M., Paperikoneen perälaatikon dynamiikan hallinta. Diplomityö. Tampereen teknillinen korkeakoulu, sähkötekniikan osasto. Tampere 1990. 78 s.

40. KERÉKES, R., KOLLER, E., Equations for calculating headbox jet contraction and angle of outflow. Tappi 64(1981)1. s. 95-96.

41. KARJALAINEN, E., Teollinen koesuunnittelu DOE (Design of Experiments). Kurssimateriaali. Laatutieto Oy. Hollola 1994. 159 s.

42. KARJALAINEN, E., Tuotantoprosessin optimointi koesuunnittelulla - Taguchi-menetelmä. Julk. Metalliteollisuuden keskusliitto. Mänttä 1990. 95 s.

LIITELUETTELO

- LIITE 1 Työssä käytetyt mittausmenetelmät
- LIITE 2 Taguchi-koeajot koepisteittäin
- LIITE 3 Koeajojen mittaustulokset 95 %:n luottamusvälein
- LIITE 4 Arkki-offset -painatuksen painojäljen mittaukset
- LIITE 5 Varmistuskokeen muuttujat sekä mittaustulokset 95 %:n luottamusvälein
- LIITE 6 Kartongin tilasuureiden väliset korrelaatiot
- LIITE 7 TSO-mittaustulokset
- LIITE 8 Kartongin rullausvauriotutkimus

TYÖSSÄ KÄYTETYT MITTAUSMENETELMÄT

Näytteiden ilmastointi	SCAN-P 2:75
Neliömassa	SCAN-P 6:75
Paksuus	SCAN-P 7:75
ISO-vaaleus	SCAN-P 3:75
Kiilto , Hunter	ISO 8254/1
Sileys, Bendtsen	SCAN-P 21:67
Jäykkyys, Taber	TAPPI T 489
Vetolujuus ja venymä	SCAN-P 16:76
Sileys, PPS	kuvaus ohessa
Palstautumislujuus	TAPPI UM 403
Irrotusluku	kuvaus ohessa
IGT-pintalujuus	SCAN-P 63:90
TSO-mittaus	kuvaus ohessa
NP-värjäys	kuvaus ohessa
Formaatio β -säteilyllä	kuvaus ohessa

FORMAATION MITTAUS β -SÄTEILYN ABSORPTIOLLA

Mittaus suoritettiin Ambertec Beta Formation Tester -laitteella. Formaatiomittari on kytketty mikrotietokoneeseen, joka laskee näytteelle formaation tunnusluvut.

Toimintaperiaate	β -säteilyn transmission mittaaminen
Mittausalue	70 mm * 70 mm
Mittausaukko	1 mm
Näytteen liikutus	askeltava, näyte liikkuu mittausten välillä
Mittauspisteiden lukumäärä	400 kpl/näyte (20 kpl x-suuntaan ja 20 kpl y-suuntaan)
Mittauspisteiden välimatka	3,5 mm sekä x- että y-suuntaan
Pulssinlaskenta-aika	säädettävissä 0,1-20 s/mittauspiste
Säteilylähde	prometium-147, suljettu lähde. Ni-mellinen aktiivisuus 5 mCi.
Tulostus	arkin keskimääräinen neliömassa neliömassan hajonta normeerattu hajonta variaatiokerroin pulssivuo arkin läpi koepisteen rinnakkaismääritysten keskiarvo

PPS SILEYS

Tässä menetelmässä kartongin karheus määritetään ilman virtaamana kartongin pinnan ja sitä vasten puristetun rengasmaisen mittapään välistä tietyn paine-eron vallitessa.

Mittaus tehdään Parker Print Surf laitteella ilmastoidussa tilassa sekä kartongin pinta- että taustapuolelta. Näytteen molemmilta puolilta tehtiin määrittäminen viidestä poikkiradan kohdasta mittaamalla sileys 4 kertaa jokaisesta arkista.

Mittauspaine oli 6,2 kPa, ja puristusaine 10 kp/cm².
Tulos ilmoitettiin 0,01 µm:n tarkkuudella.

IRROTUSLUKU

Ilmastoiduista kartonkinäytteistä leikataan konesuuntaan 2 kpl n. 30 cm pitkä ja 10 cm leveää liuskaa. Irrotetaan käsin liuskojen toisesta päästä pintaa muutama senttimetrin pituudelta. Irrotus tehdään niin, että toinen liuskoista määritetään koneen ajosuuntaan ja toinen ajosuuntaa vastaan.

Näytteen toinen pää kiinnitetään metallirullaan teipillä siten, että irrotettava kerros tulee ylöspäin. Näyte kiedotaan rullan ympäri kiinnittäen irti revitty pinta-kerros heilurityyppisen vetolujuusmittarin yläkiinnikkeeseen, ja muut kerrokset teipillä rullaan. Vetolu-

juuskojeella vedetään irrotettavaa kerrosta nopeudella 16 cm/min samalla tarkkaillen asteikolta irrotukseen tarvittavaa voimaa.

Koe päättyy, kun osoitin pysähtyy tietylle alueelle. Tulos saadaan jakamalla mittarin asteikon lukema näytteen leveydellä:

$$T = G/s$$

T = irroitusluku (g/cm)

G = asteikon lukema (g)

s = näytepalan leveys (cm)

Irrotusluku on pienempi arvo koneen ajosuuntaan ja ajosuuntaa vastaan suoritetuista määrittämisistä.

NP-värjäys

NP-painoväriin absorptiota testattaessa tutkittavalle pinnalle levitetään lastalla peittävä kerros NP-väriä, joka pyyhitään pois 10 s kuluttua. Värjätyistä näytteistä tarkastellaan visuaalisesti päällysteen tasaisuutta.

Värjätyistä näytteistä tehtiin myös Elrepho-vaaleusmittarilla absorptiotesti siten, että valkoisena referenssinä (100%) käytettiin värjäämätöntä pohjakartonkia. NP-värjäyksen tulos oli 100 % - mitattu vaaleus.

TSO-MITTAUS (KUITUORIENTAATIOMITTAUS)

Kuituorientaatiomittaus suoritettiin Lorenzen & Wettre TSO-tester -laitteistolla. Seuraavassa on esitelty laitteen ominaisuuksia.

Toimintaperiaate	Ultraäänen etenemisnopeuden mittaaminen arkin tasossa. Tästä saadaan vetolujuusindeksi kone- ja poikkisuuntaan, niiden suhde sekä kuituorientaatiokulma.
Mittauspisteiden määrä	max. 400 kpl/näyte
Mittauspisteiden väli	10-2000 mm
Mittausaika	6 s/mittauspiste
Näytteen neliömassa-alue	30-500 g/m ²
Tulostus	Raportti mitatusta näytteestä (tässä tapauksessa poikkiradasta), mikä sisältää keskiarvon, maksimi ja minimiarvon, keskihajonnan tai variaatiokertoimen sekä mittausten lukumäärän. Lisäksi tulostuu graafiset profiilit KS- ja PS- vetoindekseistä, niiden suhteesta ja kuituorientaatiokulmasta.

KOEAJOT KOEPISTEITTÄIN

Seuraavissa taulukoissa on esitetty eri koeajoissa toteutuneet hallintasuureet koepisteittäin. Taulukoissa on käytetty seuraavia lyhenteitä.

Runkokerroksen rintapöydän etäisyys, mm	Rintap. et.*
Runkokerroksen perälaatikkosakeus, %	Ru PL-sak.
Runkokerroksen suihku-viira nopeusero, m/min	Ru s-v ero
Runkokerroksen esisuodatus, %	Ru esisuod.
Pintakerroksen perälaatikkosakeus, %	Pi PL-sak.
Pintakerroksen suihku-viira nopeusero, m/min	Pi s-v ero
Pintakerroksen esisuodatus, %	Pi esisuod.

*Rintapöydän etäisyyden yhteydessä suluissa on mainittu toteutunut iskukulma, ° runkokerroksella.

TB 280 -koeajo 2.11.1995Koepiste 1

Rintap. et.	110 (8,8)
Ru PL-sak.	0.8
Ru s-v ero	5
Ru esisuod.	4.6
Pi PL-sak.	0.38
Pi s-v ero	0
Pi esisuod.	4.8

Koepiste 2

Rintap. et.	110 (11,3)
Ru PL-sak.	0.77
Ru s-v ero	15
Ru esisuod.	22.8
Pi PL-sak.	0.45
Pi s-v ero	10
Pi esisuod.	3.3

Koepiste 3

Rintap. et.	110 (11,2)
Ru PL-sak.	0.85
Ru s-v ero	5
Ru esisuod.	24.8
Pi PL-sak.	0.45
Pi s-v ero	0
Pi esisuod.	72.6

Koepiste 4

Rintap. et.	110 (8,8)
Ru PL-sak.	0.85
Ru s-v ero	15
Ru esisuod.	5.4
Pi PL-sak.	0.37
Pi s-v ero	10
Pi esisuod.	73.7

Koepiste 5

Rintap. et.	160 (6,3)
Ru PL-sak.	0.88
Ru s-v ero	5
Ru esisuod.	6.3
Pi PL-sak.	0.46
Pi s-v ero	10
Pi esisuod.	3.1

Koepiste 6

Rintap. et.	160 (7,5)
Ru PL-sak.	0.86
Ru s-v ero	15
Ru esisuod.	25.1
Pi PL-sak.	0.38
Pi s-v ero	0
Pi esisuod.	3.4

Koepiste 7

Rintap. et.	160 (7,9)
Ru PL-sak.	0.8
Ru s-v ero	5
Ru esisuod.	26.6
Pi PL-sak.	0.36
Pi s-v ero	10
Pi esisuod.	69.5

Koepiste 8

Rintap. et.	160 (6,2)
Ru PL-sak.	0.78
Ru s-v ero	15
Ru esisuod.	5.6
Pi PL-sak.	0.47
Pi s-v ero	0
Pi esisuod.	71.2

KOEAJOSSA KESKIMÄÄRÄINEN

	TASO 1	TASO 2
Rintap. et.	110	160
Ru PL-sak.	0.79	0.85
Ru s-v ero	5	15
Ru esisuod.	5.5	24.8
Pi PL-sak.	0.37	0.46
Pi s-v ero	0	10
Pi esisuod.	3.7	71.8

TB 230 -koeajo 18.12.1995Koepiste 1

Rintap. et.	110 (8,6)
Ru PL-sak.	0.82
Ru s-v ero	5
Ru esisuod.	5
Pi PL-sak.	0.39
Pi s-v ero	0
Pi esisuod.	5

Koepiste 2

Rintap. et.	110 (11,5)
Ru PL-sak.	0.78
Ru s-v ero	18
Ru esisuod.	30
Pi PL-sak.	0.47
Pi s-v ero	10
Pi esisuod.	5

Koepiste 3

Rintap. et.	110 (11,1)
Ru PL-sak.	0.89
Ru s-v ero	5
Ru esisuod.	30.3
Pi PL-sak.	0.48
Pi s-v ero	0
Pi esisuod.	69.6

Koepiste 4

Rintap. et.	110 (8,6)
Ru PL-sak.	0.89
Ru s-v ero	18
Ru esisuod.	5.5
Pi PL-sak.	0.37
Pi s-v ero	10
Pi esisuod.	71.4

Koepiste 5

Rintap. et.	160 (6,0)
Ru PL-sak.	0.91
Ru s-v ero	5
Ru esisuod.	6.5
Pi PL-sak.	0.47
Pi s-v ero	10
Pi esisuod.	6.6

Koepiste 6

Rintap. et.	160 (7,3)
Ru PL-sak.	0.89
Ru s-v ero	18
Ru esisuod.	30.2
Pi PL-sak.	0.38
Pi s-v ero	0
Pi esisuod.	8.4

Koepiste 7

Rintap. et.	160 (7,6)
Ru PL-sak.	0.82
Ru s-v ero	5
Ru esisuod.	29.9
Pi PL-sak.	0.37
Pi s-v ero	10
Pi esisuod.	68.8

Koepiste 8

Rintap. et.	160 (5,9)
Ru PL-sak.	0.8
Ru s-v ero	18
Ru esisuod.	5.1
Pi PL-sak.	0.47
Pi s-v ero	0
Pi esisuod.	73.9

KOEAJOSSA KESKIMÄÄRÄINEN

	TASO 1	TASO 2
Rintap. et.	110	160
Ru PL-sak.	0.81	0.9
Ru s-v ero	5	18
Ru esisuod.	5.3	30.1
Pi PL-sak.	0.38	0.47
Pi s-v ero	0	10
Pi esisuod.	6.3	70.9

TB 325 -koeajo 18.1.1996Koepiste 1

Rintap. et.	100 (10,4)
Ru PL-sak.	0.82
Ru s-v ero	5
Ru esisuod.	5.4
Pi PL-sak.	0.38
Pi s-v ero	0
Pi esisuod.	6

Koepiste 2

Rintap. et.	100 (12,8)
Ru PL-sak.	0.79
Ru s-v ero	15
Ru esisuod.	20
Pi PL-sak.	0.45
Pi s-v ero	10
Pi esisuod.	8.6

Koepiste 3

Rintap. et.	100 (12,9)
Ru PL-sak.	0.86
Ru s-v ero	5
Ru esisuod.	22.8
Pi PL-sak.	0.47
Pi s-v ero	0
Pi esisuod.	71.4

Koepiste 4

Rintap. et.	100 (10,3)
Ru PL-sak.	0.86
Ru s-v ero	15
Ru esisuod.	6
Pi PL-sak.	0.36
Pi s-v ero	10
Pi esisuod.	71.1

Koepiste 5

Rintap. et.	155 (7,2)
Ru PL-sak.	0.88
Ru s-v ero	5
Ru esisuod.	8.1
Pi PL-sak.	0.45
Pi s-v ero	10
Pi esisuod.	7.2

Koepiste 6

Rintap. et.	155 (8,7)
Ru PL-sak.	0.86
Ru s-v ero	15
Ru esisuod.	29.7
Pi PL-sak.	0.38
Pi s-v ero	0
Pi esisuod.	8.3

Koepiste 7

Rintap. et.	155 (9,1)
Ru PL-sak.	0.81
Ru s-v ero	5
Ru esisuod.	30.5
Pi PL-sak.	0.36
Pi s-v ero	10
Pi esisuod.	70.4

Koepiste 8

Rintap. et.	155 (7)
Ru PL-sak.	0.8
Ru s-v ero	15
Ru esisuod.	5.1
Pi PL-sak.	0.47
Pi s-v ero	0
Pi esisuod.	73.1

KOEAJOSSA KESKIMÄÄRÄINEN

	TASO 1	TASO 2
Rintap. et.	100	155
Ru PL-sak.	0.81	0.87
Ru s-v ero	5	15
Ru esisuod.	5.4	25.8
Pi PL-sak.	0.37	0.46
Pi s-v ero	0	10
Pi esisuod.	7.5	71.5

Koepiste	Mittauksia	1 ±	2 ±	3 ±	4 ±	5 ±	6 ±	7 ±	8 ±
Konerulla		8625	8626	8627	8628	8629	8630	8631	8632
Neliömassa	5	278	277	277	276	277	276	276	277
Paksuus	20	506	504	504	506	509	503	507	505
Bulkki	5	1.82	1.82	1.82	1.83	1.83	1.82	1.84	1.83
Taber, KS	10	26.5	27.7	26.9	27.6	27.4	26.1	27.6	26.9
Taber, PS	10	11.6	10.9	11.0	10.8	11.2	11.4	11.1	11.2
Taber, K/P	10	2.29	2.54	2.45	2.55	2.45	2.29	2.48	2.42
Vaaleus, p	5	81.9	82.0	81.9	81.7	81.9	81.9	81.7	81.8
Vaaleus, s	5	71.0	71.1	71.1	71.2	71.3	71.4	71.2	71.2
PPS	20	1.42	1.37	1.29	1.22	1.19	1.25	1.26	1.26
Bendtsen	20	34	22	34	24	29	28	23	26
Kiilto	5	43	43	43	43	45	45	44	45
IGT	6	0.73	0.60	0.67	0.66	0.62	0.66	0.60	0.60
Bond	3	136	133	128	128	143	133	131	135
Irr.luku	1	70	80	75	85	85	80	80	80
Veto KS	8	12.86	13.45	12.55	12.93	12.95	12.21	13.33	12.88
Veto PS	8	6.83	6.62	6.52	6.44	6.50	6.65	6.40	6.44
Veto K/P	8	1.89	2.03	1.93	2.01	1.99	1.84	2.08	2.00
Venymä KS	8	1.7	1.7	1.6	1.6	1.7	1.7	1.8	1.7
Venymä PS	8	3.5	3.8	3.3	3.8	3.4	3.6	3.6	3.4
NP-väri	5	54.6	54.8	55.8	55.6	53.9	54.4	53.9	53.1
Form ON-line		69.0	67.6	69.5	68.8	70.0	68.2	67.2	66.5
Form. Amb.		10.31	9.96	10.58	9.95	10.85	9.93	9.94	9.75

Koepiste	Mittauksia	1 ±	1 ±	2 ±	2 ±	3 ±	3 ±	4 ±	4 ±
Konerulla		10069	10070	10071	10072	10073	10074	10075	
Neliömassa	5	230	1	229	1	228	1	229	0
Paksuus	20	410	2	405	2	404	2	407	3
Bulkki	5	1.78	0.01	1.77	0.02	1.77	0.01	1.78	0.02
Taber, KS	10	15.2	0.4	16.1	0.3	15.1	0.5	15.0	0.8
Taber, PS	10	7.0	0.3	6.1	0.5	6.2	0.3	6.1	0.5
Taber, K/P	10	2.17	0.09	2.67	0.20	2.45	0.07	2.48	0.18
Vaaleus, p	5	81.5	0.1	81.7	0.1	81.6	0.1	81.4	0.2
Vaaleus, s	5	72.2	0.1	72.3	0.1	72.3	0.1	72.2	0.0
PPS, pi	20	1.22	0.05	1.13	0.04	1.14	0.05	1.20	0.05
PPS, se	20	7.55	0.09	7.73	0.09	7.69	0.09	7.76	0.08
Bendts, pi	20	37	7	31	5	39	5	34	7
Kiilto	5	43	1	43	1	43	1	46	2
IGT	6	0.79	0.13	0.66	0.07	0.71	0.16	0.8	0.04
Bond	3	131	111	122	0.27	110		132	129
Irr.luku	1	80	80	70	0.16	80		80	80
Veto KS	8	11.81	0.51	13.21	0.08	12.30	0.22	12.64	0.34
Veto PS	8	6.83	0.12	6.21	0.1	6.32	0.13	6.14	0.14
Veto K/P	8	1.73	0.07	2.14	0.3	1.95	0.05	2.07	0.07
Venymä KS	8	1.9	0.1	2.5	0.8	2.4	0.1	2.4	0.1
Venymä PS	8	4.5	0.3	5.0		4.6	0.3	5.0	0.3
NP-väri	5	53.1	1.1	51.6		52.6	0.4	51.4	0.7
Form ON-line		58.1		56.7		57.6		55.7	
Form. Amb.		7.52		7.82		7.77		7.36	
NDC-mit.		1.41		1.39		1.63		1.69	

Keopiste	Mittauksia	5 ±	5 ±	6 ±	6 ±	7 ±	7 ±	8 ±	8 ±
Konerulla	5	10076	10077	10078	10079	10080	10081	10082	10083
Neliömassa	20	231	229	229	229	229	229	227	228
Paksuus	5	408	402	403	405	404	403	400	401
Bulkki	10	1.77	1.76	1.76	1.77	1.76	1.76	1.76	1.77
Taber, KS	10	15.4	14.8	14.2	14.1	14.8	15.3	14.8	14.7
Taber, PS	10	6.1	6.2	6.4	6.4	6.1	6.1	6.4	6.3
Taber, K/P	10	2.55	2.41	2.23	2.20	2.43	2.49	2.31	2.32
Vaaleus, p	5	81.5	81.4	81.5	81.5	81.6	81.6	81.5	81.6
Vaaleus, s	5	72.2	71.1	72.3	72.4	72.3	72.4	72.4	72.5
PPS, pi	20	1.21	1.30	1.16	1.44	1.23	1.32	1.49	1.42
PPS, se	20	7.72	7.71	7.63	7.64	7.67	7.68	7.65	7.65
Bendits, pi	20	40	45	38	47	45	46	49	44
Kiilto	5	46	46	46	45	46	45	45	45
IGT	6	0.73	0.74	0.92	0.84	0.78	0.87	0.85	0.76
Bond	3	118	120	131	124	135	128	126	137
Irr.luku	1	80	80	80	75	75	75	70	70
Veto KS	8	12.68	12.61	11.80	11.74	12.26	12.68	12.31	11.97
Veto PS	8	6.11	5.8	6.27	6.54	6.38	6.35	6.34	6.57
Veto K/P	8	2.08	2.18	1.88	1.8	1.93	2.01	1.95	1.84
Venymä KS	8	2.4	2.4	2.4	2.5	2.3	2.2	1.9	2.0
Venymä PS	8	5.1	5.0	5.0	5.1	5.0	4.9	4.5	4.4
NP-väri	5	49.8	50.3	49.6	51.0	52.1	52.8	51.9	52.0
Form ON-line		57.2	57.1	54.0	54.7	56.2	56.0	56.7	56.7
Form. Amb.		7.46	8.64	6.86	7.52	7.56	7.34	7.31	7.67
NDC-mit.		1.76		1.7		1.41		1.38	

Koepiste	mittauksia	1 ±	1 ±	2 ±	2 ±	2 ±	3 ±	3 ±	4 ±	4 ±
Konerulla	10843	10844	10845	10846	10847	10848	10849	10850		
Neliömassa	5	323	2	321	1	323	2	319	3	321
Paksuus	20	613	3	608	2	615	3	613	3	615
Bulkki	5	1.90	0.01	1.89	0.01	1.90	0.02	1.92	0.02	1.92
Taber, KS	10	39.6	0.4	41.3	0.5	38.8	0.6	38.3	0.6	41
Taber, PS	10	18.0	0.5	17.0	0.6	17.1	0.5	16.5	0.5	17.6
Taber, K/P	10	2.20	0.07	2.43	0.07	2.27	0.08	2.34	0.09	2.34
Vaaleus, p	5	81.6	0.1	81.7	0.3	81.7	0.2	81.5	0.2	81.4
Vaaleus, s	5	72.1	0.1	72.0	0.2	72.1	0.2	72.1	0.1	72.2
PPS, pi	20	1.1	0.03	1.01	0.02	1.04	0.02	1.01	0.02	1.04
PPS, se	20	8.82	0.38	6.88	0.23	7.82	0.09	7.93	0.15	7.24
Bendts, pi	20	24	3	22	4	31	5	33	6	23
Kiilito	5	45	1	44	1	46	1	46	1	47
IGT	6	0.75	0.03	0.66	0.08	0.72	0.05	0.75	0.03	0.68
Bond	3	153		145		162		178		168
Irr.luku	1	85		85		95		95		95
Veto KS	8	13.37	0.27	15.04	0.42	13.71	0.18	13.69	0.41	14.04
Veto PS	8	7.57	0.19	7.60	0.11	7.16	0.08	7.14	0.21	7.32
Veto K/P	8	1.77	0.05	1.98	0.07	1.92	0.02	1.92	0.09	1.93
Venymä KS	8	1.6	0.0	2.2	0.1	2.1	0.1	2.0	0.0	2.1
Venymä PS	8	3.6	0.1	4.2	0.3	3.9	0.3	3.5	0.2	4.0
NP-väri	5	54.9	0.9	57.2	0.7	53.1	1.2	55.6	2.1	54.9
Form ON-line		68.1		65.2		70.8		71.1		69.9
NDC-mittaus		1.91		1.73		2.38		2.39		2.41

Koepiste	Mittauksia	5 ±	5 ±	6 ±	7 ±	7 ±	8 ±	8 ±
Konerulla	10851	10852	10853	10854	10855	10856	10857	10858
Neliömassa	5	321 2	321 1	320 2	320 1	322 1	319 1	318 1
Paksuus	20	613 4	616 3	611 2	609 3	611 2	607 2	603 2
Bulkki	5	1.91 0.01	1.92 0.02	1.91 0.02	1.90 0.01	1.90 0.01	1.90 0.01	1.89 0.02
Taber, KS	10	40.2 0.9	39.1 0.9	39.6 0.6	39.7 0.5	39.6 0.7	40.9 0.9	40.5 0.6
Taber, PS	10	17.2 0.6	17.9 0.3	18.3 0.7	17.0 0.3	16.9 0.4	17.6 0.7	17.4 0.5
Taber, K/P	10	2.35 0.10	2.18 0.08	2.18 0.09	2.34 0.04	2.34 0.06	2.33 0.11	2.34 0.09
Vaaleus, p	5	81.6 0.2	81.6 0.1	81.6 0.2	81.7 0.1	81.7 0.1	81.7 0.2	81.6 0.1
Vaaleus, s	5	72.1 0.1	72.0 0.2	72.1 0.1	72.1 0.2	72.0 0.1	72.1 0.1	72.0 0.2
PPS, pi	20	1.07 0.02	1.07 0.02	1.08 0.03	1.04 0.20	1.04 0.02	1.11 0.02	1.09 0.03
PPS, se	20	6.77 0.32	7.04 0.17	6.78 0.11	8.00 0.17	7.88 0.15	7.85 0.24	7.96 0.22
Bendts, pi	20	42 7	37 6	36 5	28 6	27 4	27 4	28 4
Kiilto	5	47 1	46 1	46 1	45 1	46 1	46 1	46 1
IGT	6	0.59 0.05	0.63 0.04	0.73 0.04	0.77 0.03	0.84 0.06	0.70 0.06	0.68 0.04
Bond	3	167	170	167	155	164	162	160
Irr.luku	1	90	90	105	90	90	95	100
Veto KS	8	14.17 0.42	14.43 0.15	13.75 0.36	15.39 0.24	15.25 0.37	15.01 0.58	15.25 0.23
Veto PS	8	7.20 0.20	7.11 0.23	7.63 0.18	7.69 0.21	7.75 0.15	7.66 0.20	7.68 0.22
Veto K/P	8	1.97 0.07	2.03 0.07	1.81 0.07	2.01 0.06	1.97 0.06	1.96 0.11	1.99 0.05
Venymä KS	8	2.3 0.2	2.3 0.2	2.1 0.1	2.3 0.1	2.4 0.2	2.2 0.1	2.3 0.1
Venymä PS	8	3.8 0.1	3.7 0.2	4.0 0.4	4.0 0.4	4.1 0.4	4.1 0.2	4.2 0.5
NP-väri	5	53.7 3.0	52.0 2.0	53.4 1.1	51.3 0.8	52.6 1.9	54.4 1.0	54.6 2.9
Form ON-line		73.5	73.3	71.6	65.9	65.2	66.2	66.4
NDC-mittaus		2.58	2.58	2.4	1.9	1.86	1.8	1.82

Painatuspäivä: 21.11.1995

Näyte:
Mitattu ominaisuus

Densiteetti

Macbeth
100 % musta 1
100 % syaani
100 % magenta
100 % musta 4
80 % musta 1
80 % syaani
80 % magenta
80 % musta 4

Suhteellinen kontrasti

Macbeth
musta1
syaaani
magenta
musta4

Kiilto 75 ps

Hunter
vesipinta
100 % musta 1
musta1+musta4
musta1+syaaani+musta4

Jyväisyys

SEM-IPS
100 % syaani
70 % syaani

Lajikullisuus

SEM-IPS
100 % syaani
70 % syaani

TB230-ref Ref.280g
15+7 17+8 16+9 15+7
Tamb8625 Tamb8627 Tamb8632 Tamb8633
14+8 14+9 15+12 16+13
Tamb8816 Tamb8820 Tamb8825 Tamb8839

1.49	1.50	1.51	1.51	1.52	1.56	1.49	1.53	1.52	1.53
1.35	1.29	1.36	1.37	1.37	1.38	1.37	1.39	1.40	1.36
1.18	1.22	1.23	1.21	1.23	1.21	1.20	1.25	1.26	1.24
1.47	1.47	1.47	1.49	1.50	1.51	1.49	1.51	1.52	1.50
0.94	0.96	0.93	0.95	0.96	0.94	0.92	0.96	0.95	0.96
0.92	0.92	0.92	0.94	0.93	0.93	0.95	0.96	0.99	0.95
0.75	0.78	0.78	0.77	0.79	0.76	0.77	0.79	0.81	0.79
1.00	0.98	0.98	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

0.37
0.32
0.36
0.32

0.36
0.32
0.37
0.34

0.40
0.33
0.37
0.34

0.37
0.31
0.37
0.34

0.37
0.31
0.37
0.34

0.37
0.31
0.37
0.34

0.37
0.31
0.37
0.34

0.37
0.31
0.37
0.34

0.37
0.31
0.37
0.34

0.37
0.31
0.37
0.34

0.37
0.31
0.37
0.34

0.37
0.31
0.37
0.34

51.1
85.1
89.7
91.9

47.1
86.9
93.6
93.7

51.7
83.9
91.7
91.3

49.1
85.2
91.6
90.7

50.4
84.2
90.8
91.1

49.9
82.7
89.4
89.3

42.2
75.4
83.5
83.6

50.4
83.5
89.9
89.1

50.4
83.5
89.9
89.1

50.4
83.5
89.9
89.1

50.4
83.5
89.9
89.1

50.4
83.5
89.9
89.1

52.5
85.1
89.7
91.9

52.0
86.6
93.1
92.8

52.3
88.4
93.8
93.3

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

51.1
85.1
89.7
91.9

51.7
83.9
91.7
91.3

51.7
83.9
91.7
91.3

51.7
83.9
91.7
91.3

51.7
83.9
91.7
91.3

51.7
83.9
91.7
91.3

51.7
83.9
91.7
91.3

51.7
83.9
91.7
91.3

51.7
83.9
91.7
91.3

51.7
83.9
91.7
91.3

51.7
83.9
91.7
91.3

51.7
83.9
91.7
91.3

52.3
88.4
93.8
93.3

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.3
88.4
93.8
93.3

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.3
88.4
93.8
93.3

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.3
88.4
93.8
93.3

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.3
88.4
93.8
93.3

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.3
88.4
93.8
93.3

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.3
88.4
93.8
93.3

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.3
88.4
93.8
93.3

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.3
88.4
93.8
93.3

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.3
88.4
93.8
93.3

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

52.0
86.6
93.1
92.8

Painatuspäivä: 16.01.1996

Näyte: TB230ref Tam10068 Tam10070 Tam10072 Tam10074 Tam10076 Tam10079 Tam10080 Tam10082
Mitattu ominaisuus

Densiteetti

Macbeth	1.50	1.50	1.54	1.50	1.49	1.50	1.50	1.49	1.50	1.49
100 % musta 1	1.25	1.31	1.38	1.26	1.34	1.26	1.37	1.25	1.26	1.35
100 % syaani	1.25	1.25	1.30	1.24	1.25	1.25	1.26	1.25	1.25	1.25
100 % magenta	1.49	1.50	1.52	1.48	1.47	1.48	1.49	1.48	1.48	1.47
100 % musta 4	1.02	0.99	0.99	0.99	0.98	1.00	0.98	1.00	0.97	0.97
80 % musta 1	0.93	0.95	1.00	0.92	0.98	0.91	0.99	0.91	0.91	0.98
80 % syaani	0.82	0.82	0.86	0.81	0.81	0.82	0.82	0.82	0.82	0.81
80 % magenta	1.02	1.01	1.04	0.99	1.00	1.00	1.01	0.99	0.99	0.99
80 % musta 4										

Suhteellinen kontrasti

Macbeth	0.32	0.34	0.36	0.34	0.34	0.33	0.35	0.33	0.33	0.35
musta1	0.26	0.27	0.27	0.27	0.27	0.28	0.27	0.27	0.28	0.28
syaaani	0.34	0.34	0.34	0.35	0.35	0.34	0.35	0.35	0.35	0.35
magenta	0.32	0.33	0.32	0.33	0.32	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
musta4										

Kiilto 75 ps

Hunter	47.6	46.1	43.0	48.8	44.2	44.9	50.8	42.5	43.6	
vesipinta	82.0	83.7	81.1	82.4	83.2	82.2	84.1	81.4	83.2	
100 % musta 1	89.5	90.9	89.5	90.6	90.5	90.2	89.6	88.8	88.9	
musta1+musta4	88.1	90.2	88.6	90.4	90.0	90.0	88.6	89.5	89.3	
musta1+syaaani+musta4										

Jyväisyys

SEM-IPS	3.4	2.7	2.5	2.8	2.7	2.6	3.0	2.7	2.8	
100 % syaani	3.0	3.2	3.5	2.6	3.3	3.2	3.2	3.2	3.3	
70 % syaani										

Laikullisuus

SEM-IPS	1.3	1.2	1.1	1.0	1.2	1.1	1.1	1.2	1.0	
100 % syaani	1.0	1.4	1.5	1.1	1.3	1.4	1.2	1.2	1.3	
70 % syaani										

Painatuspäivä: 30.01.1996

Näyte:
Mitattu ominaisuus

tam10844 tam10846 tam10848 tam10850 tam10852 tam10854 tam10856 tam10858

Densiteetti

Macbeth
100 % musta 1
100 % syaani
100 % magenta
100 % musta 4
80 % musta 1
80 % syaani
80 % magenta
80 % musta 4

1.48	1.46	1.46	1.47	1.48	1.48	1.48	1.47
1.38	1.35	1.33	1.34	1.35	1.37	1.36	1.35
1.22	1.20	1.22	1.21	1.22	1.23	1.22	1.22
1.45	1.39	1.43	1.42	1.46	1.44	1.43	1.45
0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.93	0.93	0.93
0.97	0.96	0.93	0.93	0.94	0.97	0.98	0.94
0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
1.00	0.97	0.98	0.97	1.00	0.99	0.98	0.99

Suhteellinen kontrasti

Macbeth
musta1
syaaani
magenta
musta4

0.38	0.37	0.37	0.37	0.38	0.37	0.37	0.37
0.30	0.29	0.30	0.31	0.30	0.29	0.28	0.30
0.34	0.34	0.35	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
0.31	0.31	0.32	0.32	0.32	0.31	0.32	0.32

Kiilto 75 ps
Hunter
vesipinta
100 % musta 1
musta1+musta4
musta1+syaaani+musta4

46.4	47.0	47.4	46.5	46.7	47.8	47.1	46.7
85.6	87.0	86.4	86.2	86.8	86.5	87.1	86.0
93.6	93.5	93.2	93.0	92.8	93.1	92.9	90.5
91.7	92.5	91.8	92.0	92.0	92.0	91.4	90.9

Jyväisyys

SEM-IPS
100 % syaani
70 % syaani

2.4
2.6

2.2
2.6

2.4
2.7

2.2
2.6

2.4
2.8

2.3
2.8

2.5
2.8

Laikullisuus

SEM-IPS
100 % syaani
70 % syaani

1.5
1.6

1.3
1.4

1.4
1.6

1.3
1.6

1.6
1.7

1.3
1.5

1.4
1.4

Varmistuskoe TB270

Ajotapa 1 "perinteinen"		Ajotapa 2 "optimoitu"	
Rintap. et.	136 mm	Rintap. et.	158 mm
Ru PL-sak.	0,87 %	Ru PL-sak.	0,82 %
Ru s-v ero	7 m/min	Ru s-v ero	12 m/min
Ru esisuod.	10 %	Ru esisuod.	17 %
Pi PL-sak.	0,47 %	Pi PL-sak.	0,38 %
Pi s-v ero	0 m/min	Pi s-v ero	0 m/min
Pi esisuod.	7 %	Pi esisuod.	55 %

Konerulla	Mittauksia	12249 ±	12250 ±	12251 ±	12252 ±	Ajotapa 1 ±	12255 ±	12256 ±	12257 ±	Ajotapa 2 ±
Neliömassa	5	268	1	267	1	268	1	268	2	267
Paksuus	20	495	3	489	3	492	3	490	2	490
Bulkki	5	1,85	0,02	1,83	0,02	1,84	0,02	1,84	0,01	1,83
Taber, KS	10	21,9	0,5	21,9	0,5	21,8	0,6	21,8	0,6	21,8
Taber, PS	10	9,9	0,5	9,8	0,6	9,9	0,4	9,7	0,4	9,8
Taber, K/P	10	2,23	0,11	2,24	0,10	2,21	0,08	2,25	0,10	2,22
Vaaleus, p	5	81,6	0,1	81,7	0,1	81,5	0,0	81,6	0,1	81,5
Vaaleus, s	5	72,0	0,1	72,3	0,1	72,2	0,1	72,2	0,1	72,2
PPS	20	1,07	0,02	1,09	0,03	1,11	0,03	1,12	0,04	1,14
PPS, se	20	7,74	0,05	7,69	0,06	7,8	0,07	7,78	0,07	7,79
Bendtsen	20	34	4	29	3	35	4	25	3	27
Kiilto	5	45	0	45	1	46	0	46	1	45
IGT	6	1,04	0,09	1,07	0,08	1,09	0,06	1,10	0,07	1,07
Bond	3	145	150	141	145	145		116	118	116
Irr.luku	1	80	75	70	70	74		70	75	75
Veto KS	8	11,14	0,51	11,56	0,43	11,59	0,44	12,25	0,34	12,15
Veto PS	8	6,71	0,16	6,85	0,09	6,73	0,12	6,97	0,08	6,90
Veto K/P	8	1,67	0,09	1,69	0,07	1,70	0,09	1,76	0,06	1,76
Venymä KS	8	1,6	0,1	1,7	0,1	1,7	0,1	1,8	0,1	1,8
Venymä PS	8	3,7	0,1	3,8	0,1	3,8	0,2	4,1	0,2	4,1
Form ON-line		68,1	68,9	69,1	68,6	68,7	65,5	65,2	65,5	65,4

2. KOEALJO, TB 230, 18.12.1995	
Neilomias Neilomassa	
Paksuus	0.63 Paksuus
Bulkki	0.16 0.81 Bulkki
Taber, KS	0.21 0.35 0.30 Taber, KS
Taber, PS	0.11 0.52 0.48 -0.15 Taber, PS
Taber, K/	0.04 -0.14 -0.13 0.64 -0.83 Taber, K/P
Vaaleus,	-0.19 -0.10 -0.09 0.40 -0.08 0.28 Vaaleus, P
Vaaleus,	-0.21 0.06 0.19 0.00 0.08 -0.08 0.49 Vaaleus, s
PPS, pi	-0.35 -0.43 -0.26 -0.31 0.13 -0.39 -0.17 0.09 PPS, pi
PPS, se	0.01 -0.08 0.03 0.36 -0.75 0.79 -0.14 -0.22 -0.27 PPS, se
Benditsen	-0.15 -0.62 -0.72 -0.46 -0.13 -0.27 -0.15 -0.09 0.75 -0.26 Benditsen
Killito	0.28 -0.26 -0.46 -0.25 -0.32 -0.01 -0.52 -0.27 0.31 0.26 0.52 Killito
IGT	0.05 -0.06 -0.22 -0.40 0.36 -0.61 -0.34 0.16 0.42 -0.40 0.43 0.52 IGT
Bond	0.02 -0.28 -0.30 -0.07 -0.14 -0.04 -0.02 0.19 0.29 -0.20 0.30 0.46 0.36 Bond
Irr.luku	0.47 0.56 0.37 0.08 0.13 -0.03 -0.53 -0.39 -0.51 0.13 -0.37 0.12 0.06 -0.28 Irr.luku
Veto KS	0.12 -0.21 -0.28 0.65 -0.76 0.91 0.14 -0.24 -0.22 0.72 -0.07 0.16 -0.42 0.09 -0.10 Veto KS
Veto PS	-0.04 0.36 0.41 -0.20 0.75 -0.68 0.28 0.61 0.20 -0.77 -0.02 -0.44 0.28 0.11 -0.22 -0.72 Veto PS
Veto K/P	0.09 -0.30 -0.35 0.47 -0.60 0.85 -0.08 -0.48 -0.22 0.80 -0.03 0.32 -0.39 -0.01 0.06 0.93 -0.92 Veto K/P
Venymä	0.32 0.12 0.27 -0.49 0.49 0.48 0.01 -0.24 -0.39 0.60 -0.24 0.26 -0.16 -0.19 0.35 0.44 -0.58 Venymä KS
Venymä	0.44 0.01 -0.31 0.02 -0.55 0.43 -0.09 -0.27 -0.29 0.44 -0.02 0.40 -0.07 0.04 0.20 0.43 -0.59 Venymä PS
NP-väri	-0.38 0.09 0.26 0.07 0.32 -0.15 0.50 0.35 0.01 -0.39 -0.11 -0.71 -0.23 -0.09 -0.29 -0.26 -0.56 -0.50 NP-väri
Form ON-	0.00 0.38 0.47 0.34 0.38 0.01 0.17 -0.16 -0.18 -0.11 -0.31 -0.61 -0.52 -0.37 0.01 0.22 -0.53 Form ON-line
Form. Am	-0.04 -0.13 -0.03 0.02 -0.14 0.19 -0.15 -0.72 -0.01 0.28 0.06 -0.13 -0.57 -0.37 0.01 0.22 -0.01 0.02 0.45 Form. Amb.
NDC-mitt.	0.49 0.19 0.00 -0.26 -0.33 0.17 -0.44 -0.48 -0.52 0.44 -0.21 0.47 0.13 -0.30 0.55 0.22 -0.54 0.42 0.54 -0.25 NDC-mitt.

17-Nov-95
09:28am

1

L&W TSO TESTER

Rullaraportti

Inso-Gutzeit Oy
Tutkimuskeskus

m No tulla eliöpaino	8625 A 280	Laji Tilaus Mittausväli	Auto Inkeroinen 50	Aika Päiväys Käyttäjä	09:06 11-17-1995 hv	Laji		Laji									
						Ohjearvo	Minimi	Laji	Maksimi								
minaisuudet						Yksikkö	Keskiarvo	Std	Minimi	Maksimi	Lkm	Ok	Hylätty	Error	Laji	Laji	Maksimi
SI KS						kNm/g	8.90	0.087	8.68	9.09	88						
SI PS						kNm/g	4.41	0.051	4.25	4.52	88						
SI KS/PS						--	2.02	0.027	1.95	2.10	88						
Suuntakulma						°	0.37	1.090	-1.72	3.52	88						
Kost.laaj PS						%	0.62	0.009	0.60	0.64	88						
SI Geo Ka						kNm/g	6.26	0.052	6.13	6.35	88						

17-Nov-95
01:00pm

1

L&W TSO TESTER

Rullaraportti

Inso-Gutzeit Oy
Tutkimuskeskus

Tutkimuskeskus									
m No ulla eliöpaino	8626 A 280	Laji Tilaus Mittausväli	Auto Inkeroinen 50	Aika		Laji Ohjearvo	Laji Minimi	Laji Maksimi	
				Päiväys	Käyttäjä				
minaisuudet									
Yksikkö	Keskisarvo	Std	Minimi	Maksimi	Lkm Ok	Lkm Hylätty	Error	Laji	Laji
RSI KS	kNm/g	9.11	0.084	8.75	9.30	88			
RSI PS	kNm/g	4.12	0.066	3.94	4.21	88			
RSI KS/PS	--	2.21	0.037	2.15	2.30	88			
Suuntakulma	°	-0.34	1.374	-2.97	1.95	88			
Kost.laaj PS	%	0.67	0.013	0.65	0.71	88			
RSI Geo Ka	kNm/g	6.13	0.063	5.87	6.22	88			

17-Nov-95
12:34pm

1

L&W TSO TESTER

Rullaraportti

Inso-Gutzeit Oy
tutkimuskeskus

m No tulla eliöpaino	8627 A 280	Laji Tilaus Mittausväli	Auto Inkeroinen 50	Aika		Laji Ohjearvo	Laji Minimi	Laji Maksimi
				Päiväys Käyttäjä	12:19 11-17-1995 hv			
		Keskisarvo	Std	Minimi	Maksimi	Lkm Ok	Lkm Hylätty	Error
minaisuudet		Yksikkö						
RSI KS	kNm/g	8.94	0.108	8.48	9.14	88		
RSI PS	kNm/g	4.12	0.049	4.01	4.28	88		
RSI KS/PS	--	2.17	0.038	1.98	2.24	88		
Suuntakulma	°	-0.41	1.253	-3.20	2.03	88		
Kost.laaj PS	%	0.67	0.010	0.64	0.69	88		
RSI Geo Ka	kNm/g	6.07	0.049	5.93	6.18	88		

17-Nov-95
12:17pm

L&W TSO TESTER

1

Rullaraportti

Enso-Gutzeit Oy
Tutkimuskeskus

m No ulla eliöpaino	8628 A 280	Laji Tilaus Mittausväli	Auto Inkeroinen 50	Aika		10:10 11-17-1995 hv			
				Päiväys Käyttäjä					
minaisuudet	Yksikkö	Keskiarvo	Std	Minimi Maksimi	Lkm	Error	Laji	Laji	Laji
					Ok Hylätty	Ohjearvo	Minimi	Maksimi	
SI KS	kNm/g	9.23	0.087	8.87	9.43	88			
SI PS	kNm/g	4.11	0.051	3.98	4.19	88			
SI KS/PS	--	2.24	0.034	2.18	2.35	88			
uuntakulma	°	-0.62	1.180	-2.97	1.64	88			
Kost.laaj PS	%	0.67	0.010	0.66	0.70	88			
SI Geo Ka	kNm/g	6.16	0.050	6.01	6.24	88			

10:42am



L&W TSO TESTER

Rullaraportti

Enso-Gutzeit Oy
Tutkimuskeskus

[illegible]

LIITE 7 5(8)

17-Nov-95
01:14pm

1

L&W TSO TESTER

Rullaraportti

Wanso-Gutzeit Oy
Tutkimuskeskus

m No ulla eliöpaino	8630 A 280	Laji Tilaus Mittausväli	Auto Inkeroinen 50	Aika		Laji Ohjearvo	Laji Minimi	Laji Maksimi
				Päiväys Käyttäjä	Lkm Ok Hylätty			
ominaisuudet								
RSI KS	kNm/g	8.84	0.083	8.59	9.00	88		
RSI PS	kNm/g	4.25	0.066	4.12	4.36	88		
RSI KS/PS	--	2.08	0.038	2.01	2.17	88		
Suuntakulma	°	-0.30	0.699	-1.56	1.25	88		
Kost.laaj PS	%	0.64	0.012	0.62	0.67	88		
RSI Geo Ka	kNm/g	6.13	0.055	5.99	6.24	88		

Rullaraportti

Enso-Gutzeit Oy		Auto		Aika		14:02	
Putkimuskeskus		Inkeroinen		Päiväys		11-22-1995	
Pm No	8631 A	Laji	Auto	Käyttaja		mta	
Rulla	280	Tilaus	Inkeroinen				
Neliöpaino		Mittausväli	50				
				Lkm	Lkm	Laji	Laji
				Ok Hylätty		Ohjearvo	
						Minimi Maksimi	
Ominaisuudet		Yksikkö	Keskiarvo	Std	Minimi Maksimi		
TSI KS	kNm/g		9.23	0.104	8.81	9.44	89
TSI PS	kNm/g		4.13	0.054	4.00	4.23	89
TSI KS/PS	--		2.24	0.039	2.14	2.33	89
Suuntakulma	°		-0.58	1.044	-3.13	1.80	89
Kost.laaj PS	%		0.67	0.011	0.65	0.69	89
TSI Geo Ka	kNm/g		6.17	0.053	6.02	6.29	89

03:27PM

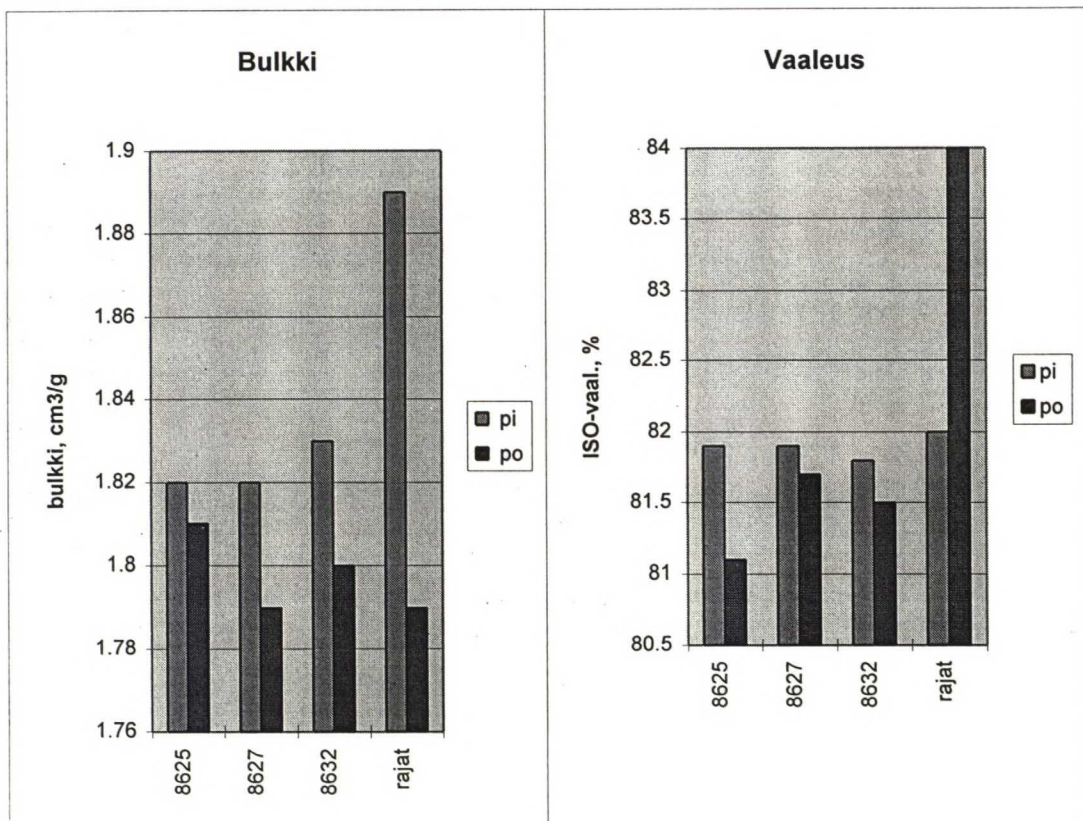
Rullaraportti

n No	8632 A	Laji Tilaus Mittausväli	Auto Inkeroinen 50	Aika Päiväys Käyttäjää	15:14		
					Ohjearvo	Laji	Laji
minaisuudet	Yksikkö	Keskiarvo	Std	Minimi	Maksimi	Laji	
SI KS	kNm/g	8.97	0.090	8.48	9.16	Laji	
SI PS	kNm/g	4.09	0.056	3.98	4.21	Minimi	
SI KS/PS	--	2.19	0.037	2.07	2.27	Maksimi	
suuntakulma	o	-0.99	1.302	-4.14	1.56		
ost.laaj PS	%	0.67	0.011	0.65	0.70		
SI Geo Ka	kNm/g	6.06	0.053	5.90	6.18		

LIITE 7 8 (8)

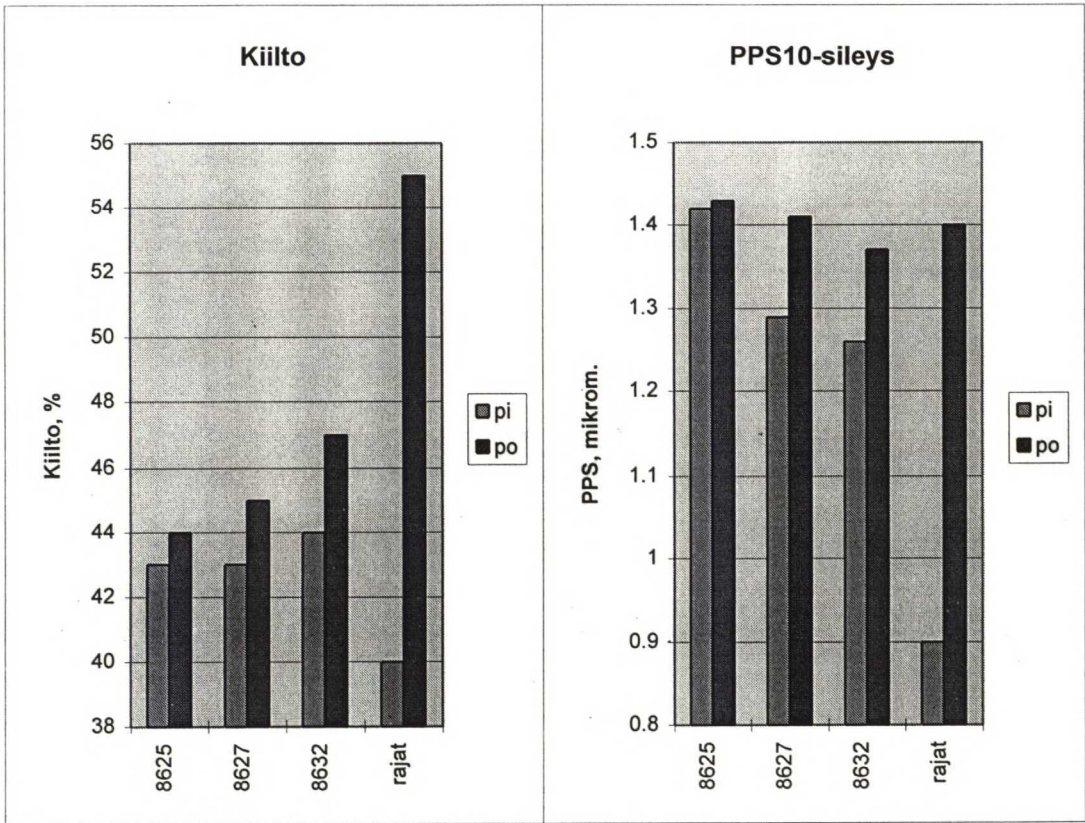
Tässä liitteessä on esitetty kuvaajien avulla rullaus-
vauriotutkimuksen tulokset. Kuvaajissa pi tarkoittaa
konerullan pinnalta otettua näytettä ja po tarkoittaa
pohjan läheltä otettua näytettä.

Tarkasteltava tilasuure on esitetty pystyakseleilla,
ja konerullan numero vaaka-akselilla. Vaaka-akselilla
oleva kohta "rajat" ilmaisee ko. lajin tilasuureen tole-
ranssin.



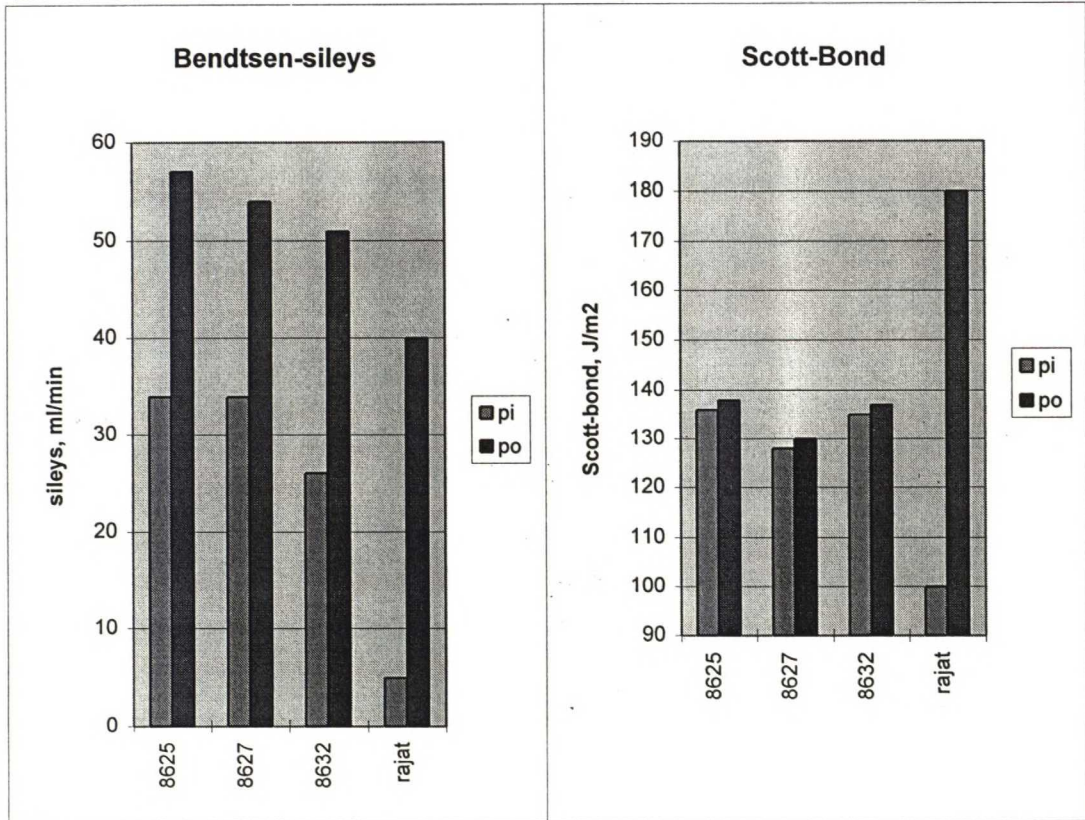
Kuva 1. Bulkki

Kuva 2. Vaaleus



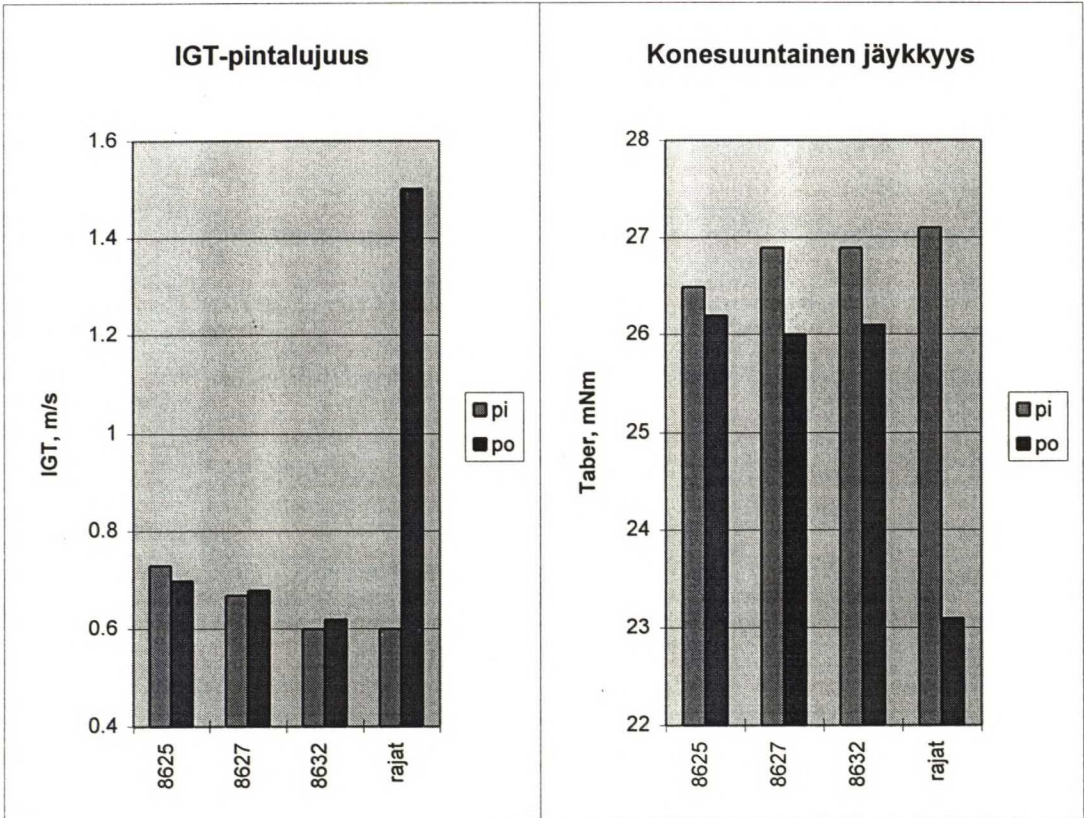
Kuva 3. Kiilto

Kuva 4. PPS10-sileys



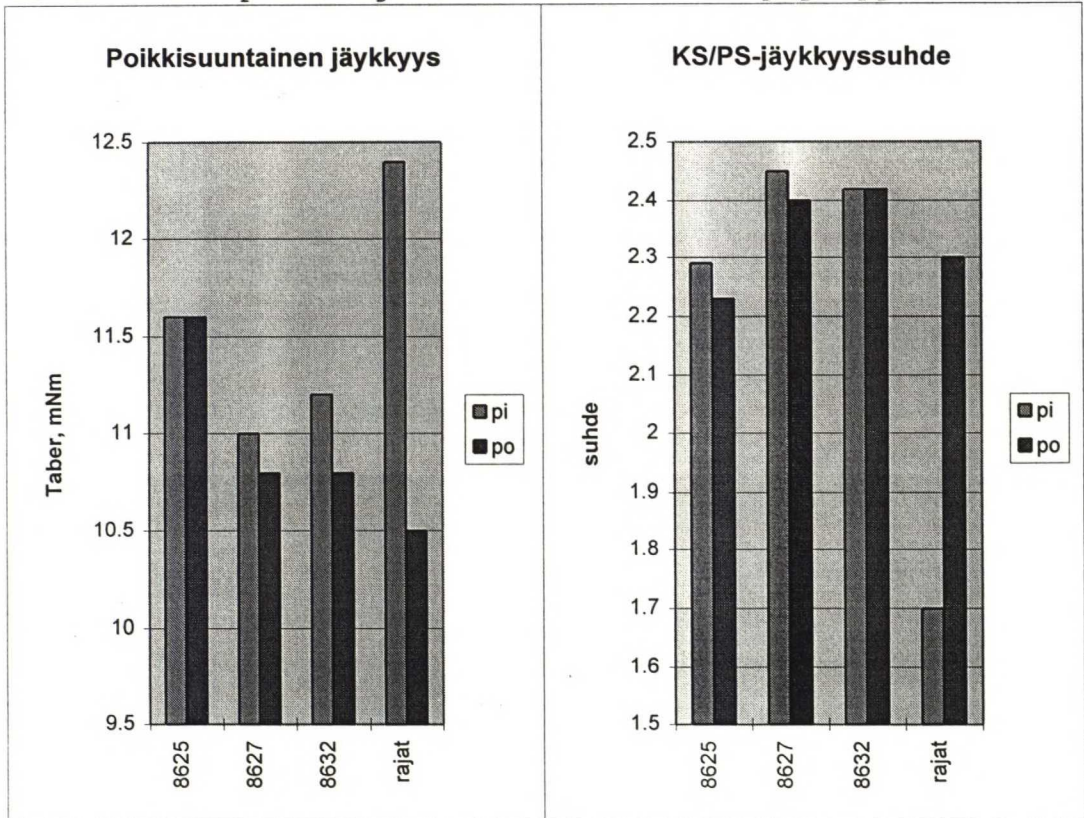
Kuva 5. Bendtsen-sileys

Kuva 6. Scott-Bond



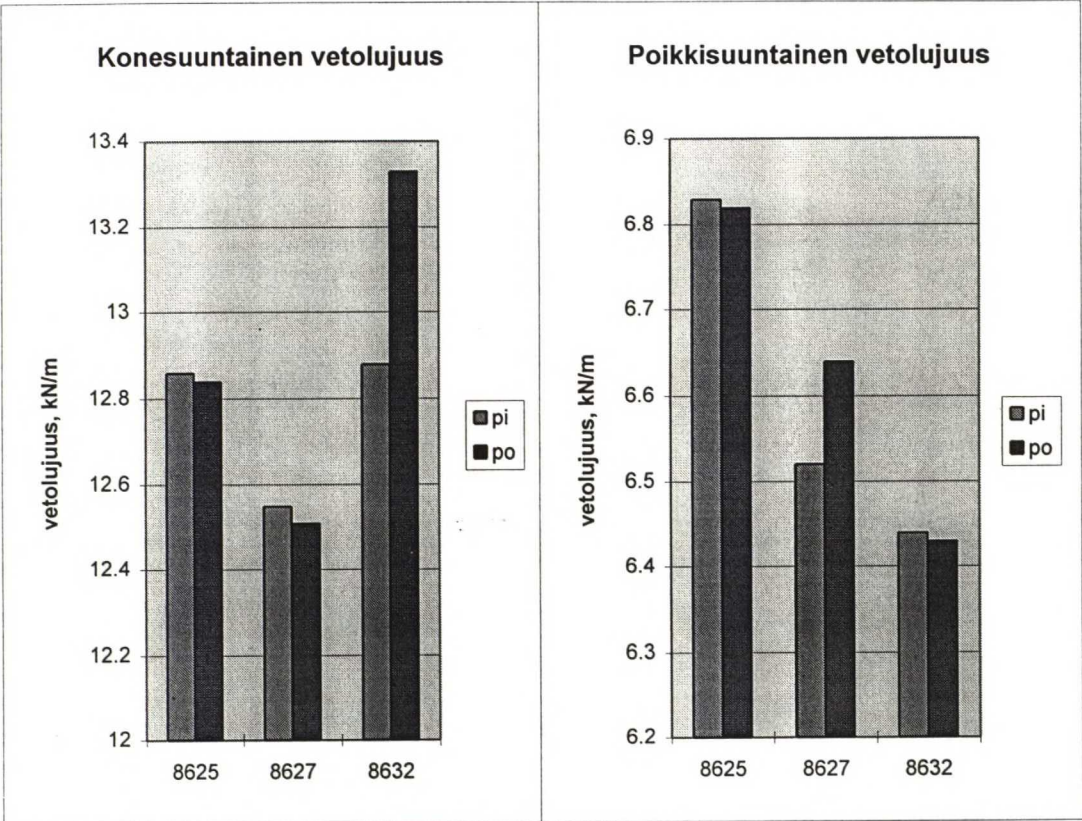
Kuva 7. IGT-pintalujuus

Kuva 8. KS-jäykkyys



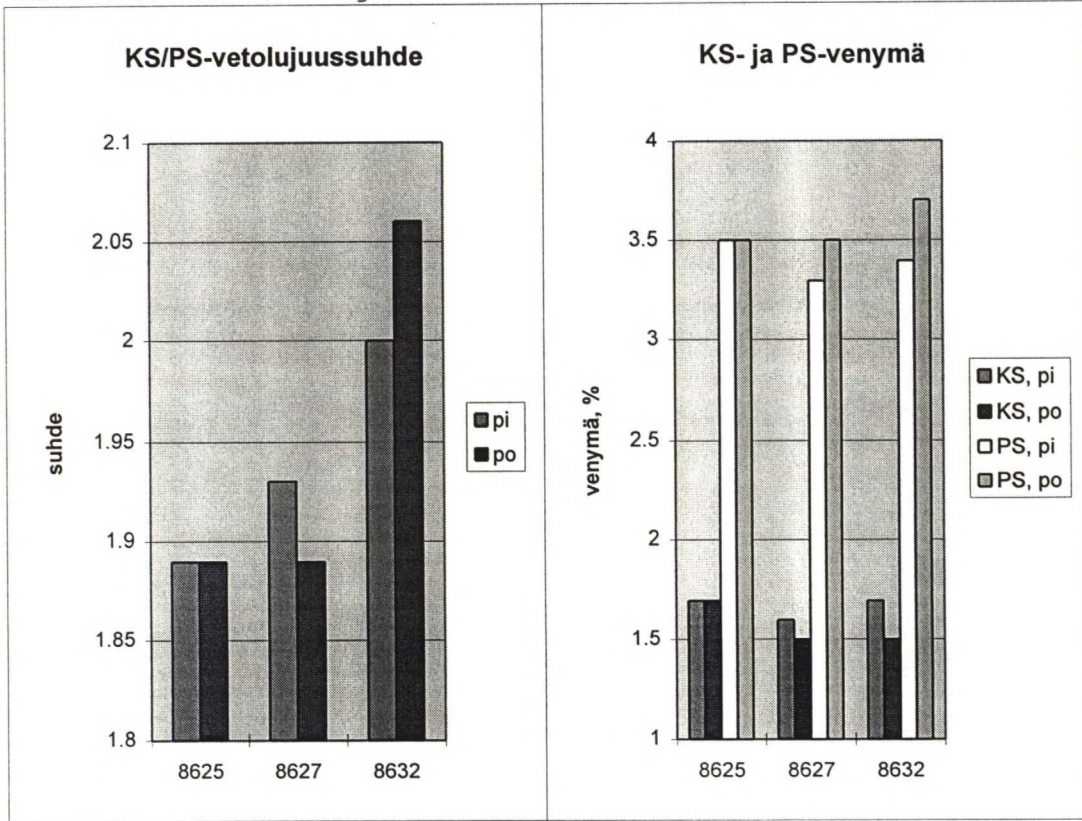
Kuva 9. PS-jäykkyys

Kuva 10. Jäykkyysuhde



Kuva 11. KS-vetolujuus

Kuva 12. PS-vetolujuus



Kuva 13. Vetolujuussuhde

Kuva 14. KS- ja PS-venymä

LUKUSAZIKPL

TEKNILLINEN KORKEAKOULU
Puunjalostustekniikan laitos
Kirjasto